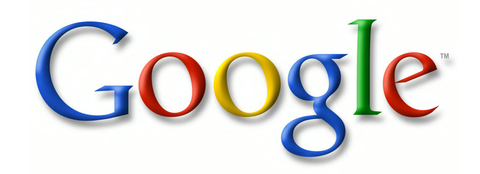
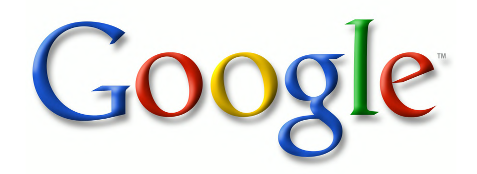
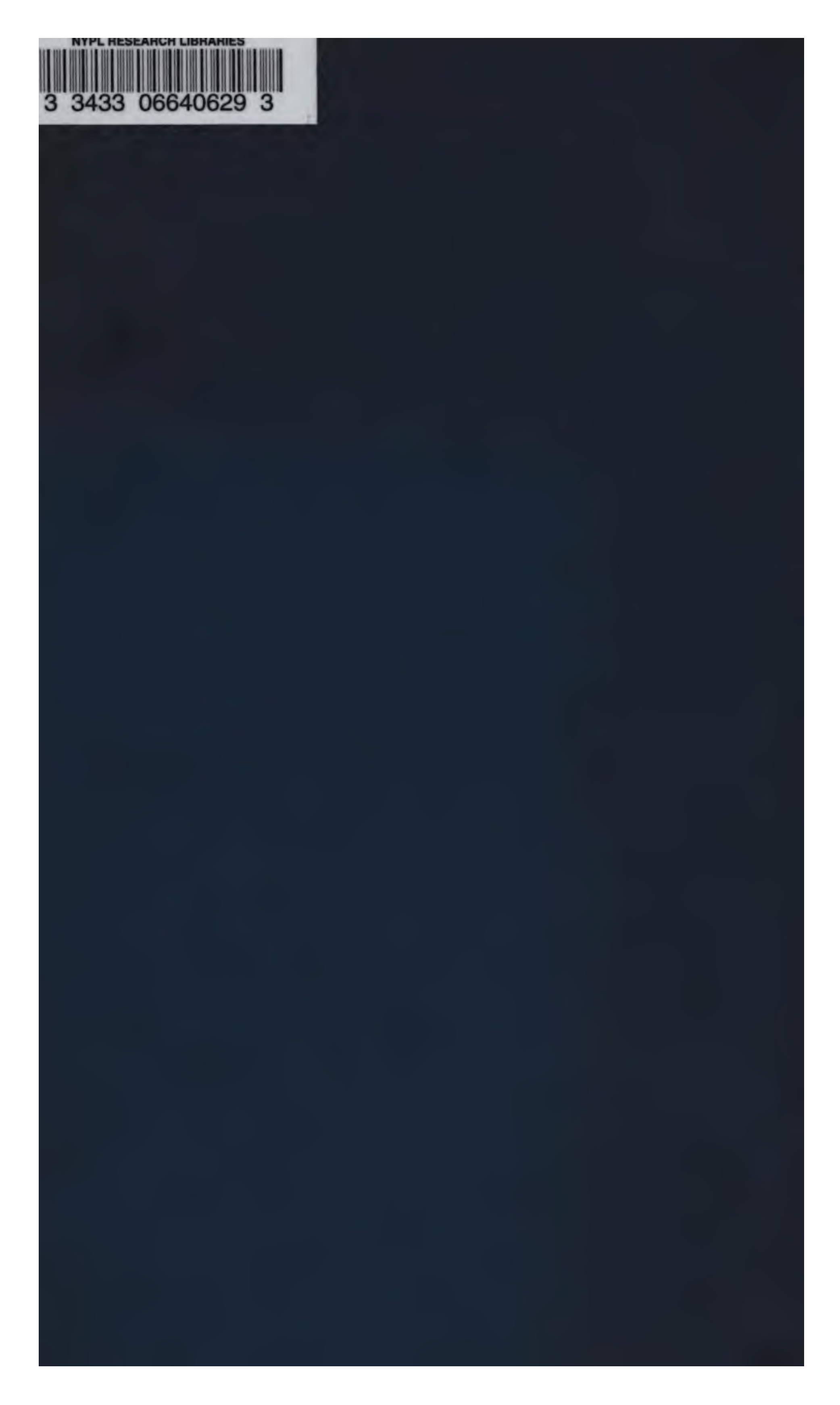
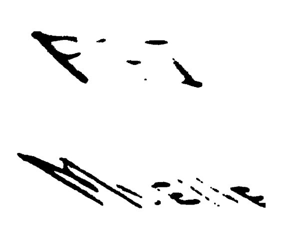






NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06640629 3







LEHRBUCH

DER

ELEKTROTECHNIK

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER

ELEKTRISCHEN ANLAGEN AUF SCHIFFEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. JOHS. J. C. MÜLLER

OBERLEHRER AM TECHNIKUM DER FREIEN HANSESTADT BREMEN



MIT 510 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903



LEHRBUCH

DER

ELEKTROTECHNIK

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER

ELEKTRISCHEN ANLAGEN AUF SCHIFFEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. JOHS. J. C. MÜLLER

OBERLEHRER AM TECHNIKUM DER FREIEN HANSESTADT BREMEN



MIT 519 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903

ANKÜNDIGUNG.

Das vorliegende Lehrbuch ist aus den Vorträgen entstanden, die der Verfasser seit mehreren Jahren in den Oberklassen der Seemaschinisten- und Maschinenbauschule des Technikums zu Bremen gehalten hat. Für die Auswahl und für die Anordnung des Lehrstoffes wurde das für die genannten Oberklassen aufgestellte Unterrichtsprogramm zu Grunde gelegt. An mehreren Stellen sind jedoch auch Erweiterungen und Ergänzungen hinzugefügt, damit das Lehrbuch zugleich zur Einleitung in das Studium spezieller elektrotechnischer Werke dienen kann. Im besonderen ist Rücksicht auf den Betrieb der Elektromotoren, der Beleuchtungsanlagen und Signalanlagen an Bord der grofsen Passagierdampfer genommen, wobei besonders die Dampfer des Norddeutschen Lloyd und der Hamburg-Amerika-Linie Berücksichtigung gefunden haben. Auch ist an vielen Stellen auf die Einrichtung elektrischer Anlagen an Bord der Kriegsschiffe hingewiesen, soweit es nach den in Zeitschriften gegebenen Beschreibungen möglich war. Bei der vielfachen Verwendung des elektrischen Stromes an Bord der Dampfer ist es sehr wünschenswert, ein Lehrbuch den Maschinisten zu geben, das als Handbuch im Unterrichte wie auch beim Selbststudium zur Einführung in die Elektrotechnik dient und eine Beschreibung der Wirkungsweise elektrischer Maschinen und Apparate, sowie der elektrischen Anlagen enthält.

Braunschweig, im Januar 1903.

Friedrich Vieweg und Sohn.

LEHRBUCH

DER

ELEKTROTECHNIK



LEHRBUCH

DER

ELEKTROTECHNIK

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER

ELEKTRISCHEN ANLAGEN AUF SCHIFFEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. JOHS. J. C. MÜLLER

OBERLEHRER AM TECHNIKUM DER FREIEN HANSESTADT BREMEN

MIT 519 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1903

VORWORT.

Das vorliegende Lehrbuch ist aus den Vorträgen entstanden,
ə ich seit mehreren Jahren in den Oberklassen der Seemaschi-
stenschule und der Maschinenbauschule des Technikums zu
emen gehalten habe. Für die Anlage des Buches war von
rneherein die Verteilung des Lehrstoffes mafsgebend, der für
n Unterricht in den genannten Klassen vorgeschrieben ist.

Die Oberklasse der Seemaschinistenschule wird von solchen
aschinisten besucht, die das Patent erster Klasse bereits er-
lten haben. Die ausgedehnten Maschinenanlagen auf den
ossen Passagierdampfern, insbesondere auf den Schnelldampfern,
it ihren zahlreichen Hülfsmaschinen, unter denen sich auch
ele Elektromotoren befinden, erfordern eine weitere Ausbildung
r Maschinisten, die das Patent I. Klasse erworben haben und
nen die Leitung des Maschinenbetriebes übertragen wird. Aus
esem Grunde ist auf Veranlassung des Norddeutschen Lloyd
r mehreren Jahren am Technikum der freien Hansestadt Bremen
ne Oberklasse in der Seemaschinistenschule den drei bereits
rhandenen Klassen dieser Schule hinzugefügt worden. Der er-
lgreiche Besuch dieser Oberklasse gewährt den Maschinisten
e Aussicht auf Anstellung als Ingenieur auf einem der Passagier-
ıd Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd. Ähnliche Ver-
iltnisse bestehen auch für die Maschinisten der Hamburg-
merika-Linie.

Die Oberklasse der Maschinenbauschule zerfällt in drei Ab-
eilungen, und zwar für Schiffsmaschinenkunde, für allgemeinen
laschinenbau und für Elektrotechnik. Die letzte Abteilung

nimmt neben den speziellen elektrotechnischen Vorträgen auch teil an den elektrotechnischen Vorträgen, die der ganzen Oberklasse gehalten werden und die auch eine besondere Berücksichtigung der elektrischen Anlagen an Bord der Dampfer erfordern. Das vorliegende Lehrbuch behandelt den Gegenstand so weit, wie er für beide Oberklassen gemeinsam zu fassen ist. Der Unterricht beider Oberklassen ist dabei ganz voneinander getrennt, und naturgemäfs ist in den Vorträgen für die Oberklasse der Maschinenbauschule auch auf solche Einrichtungen elektrischer Beleuchtungs- und Kraftübertragungsanlagen und auf mehrere in diesen Anlagen benutzte Apparate Rücksicht zu nehmen, auf die ich bei dem ausgesprochenen Zwecke des Buches nicht einzugehen brauchte.

In dem Unterrichte der genannten Oberklassen handelt es sich zunächst um eine kurze Darstellung der physikalischen Grundgesetze, die ausreicht, um auf ihr die Beschreibung der Wirkungsweise elektrischer Maschinen und Apparate aufzubauen. Alle Einzelheiten der Konstruktion der elektrischen Maschinen mufsten von vorneherein als nicht zum Lehrstoff gehörig ausgeschlossen bleiben. Die Schüler, für die das vorliegende Lehrbuch bestimmt ist, haben elektrische Anlagen zu überwachen und auch bei Neubauten als Baubeaufsichtigende Anweisung für die Ausführung elektrischer Anlagen zu geben. Um jedoch auch etwas weiter gehenden Forderungen Rechnung zu tragen, und um den Schüler auch in den Stand zu setzen, ausführlichere Lehrbücher der Elektrotechnik mit Erfolg zu studieren, sind an mehreren Stellen Zusätze gemacht worden, die über den eigentlichen Umfang des vorgeschriebenen Lehrstoffes hinausgehen. Zur Beschränkung des Umfanges des Buches habe ich diese Teile, wie auch andere, die lediglich eine Beschreibung von Maschinen und elektrischen Apparaten enthalten, in kleinem Drucke erscheinen lassen.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, der Direktion des Norddeutschen Lloyd meinen herzlichen Dank für ihr stets bereitwilliges Entgegenkommen auszusprechen, das mich in den Stand setzte, die sämtlichen elektrischen Anlagen auf den meisten Dampfern der Flotte des Norddeutschen Lloyd zu besichtigen und auch während der Fahrt in ihrer zweckmäfsigen Einrichtung

kennen zu lernen. Den Herren Oberinspektor Beul, Inspektor Heise und Ingenieur Albrecht zu Bremerhaven sage ich noch besonders meinen Dank für die bereitwillige Unterstützung, die ich bei den Besichtigungen der Dampfer stets gefunden habe. Besonders wertvoll sind mir viele Mitteilungen über die Installation an Bord gewesen, welche die Union-Elektrizitätsgesellschaft Berlin, die Firma A. Nissen u. Co. in Hamburg sowie auch die Hanseatischen Elektrizitätswerke Siemens u. Halske in Hamburg mir gemacht haben. Allen Firmen, die durch Mitteilungen und durch leihweise Überlassung von Clichés die Herausgabe des Lehrbuches unterstützt haben, insbesondere auch der Verlagsbuchhandlung, die sehr eifrig bestrebt gewesen ist, das Lehrbuch in vorzüglicher Weise auszustatten, sage ich meinen besten Dank.

Bremen, im Dezember 1902.

Dr. Johs. Müller.



INHALTSÜBERSICHT.

Erster Abschnitt.

Die physikalischen Grundgesetze.

Erstes Kapitel.

Magnetismus.

Zweites Kapitel.

Der elektrische Strom und dessen Wirkungen. Die Gesetze von Ohm und Kirchhoff.

Drittes Kapitel.

Elektromagnetismus.

Viertes Kapitel.

Induktion.

Zweiter Abschnitt.

Die Gleichstrommaschinen.

Fünftes Kapitel.

Wirkungsweise der Gleichstromdynamos.

Sechstes Kapitel.

Die Gleichstrom-Elektromotoren.

Dritter Abschnitt.

Wechselströme.

Siebentes Kapitel.

Grundgesetze des Wechselstromes.

Achtes Kapitel.

Die Wechselstrommaschinen.

Vierter Abschnitt.

Galvanische Elemente und Akkumulatoren.

Neuntes Kapitel.

Primär- und Sekundär-Elemente.

Fünfter Abschnitt.

Elektrische Beleuchtung.

Zehntes Kapitel.

Die elektrischen Lampen.

A. Glühlampen.

B. Bogenlampen.

C. Scheinwerfer.

Achtzehntes Kapitel.

Schiffskommando-Apparate und Signalapparate.

Neunzehntes Kapitel.

Die Funkentelegraphie.



Erster Abschnitt.

Die physikalischen Grundgesetze.

Erstes Kapitel.

Magnetismus.

§. 1. Eigenschaften des Magneten und Formen desselben. Der Magnet besitzt die Eigenschaft, besonders an einzelnen Stellen seiner Oberfläche, die wir als Pole bezeichnen, Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten. Als natürlicher Magnet findet sich ein Mineral — der Magneteisenstein. Durch verschiedene Magnetisierungsmethoden kann man aus Stahl permanente Magnete oder Dauermagnete herstellen. Das Vermögen des Stahles, den einmal hervorgerufenen Magnetismus zu behalten, bezeichnet man als die Koerzitivkraft desselben.

In den Figuren 1 bis 3 sind verschiedene Formen von Dauermagneten dargestellt und zwar 1. Magnetnadeln (Kompafsnadeln), als Stäbchen mit kreis-

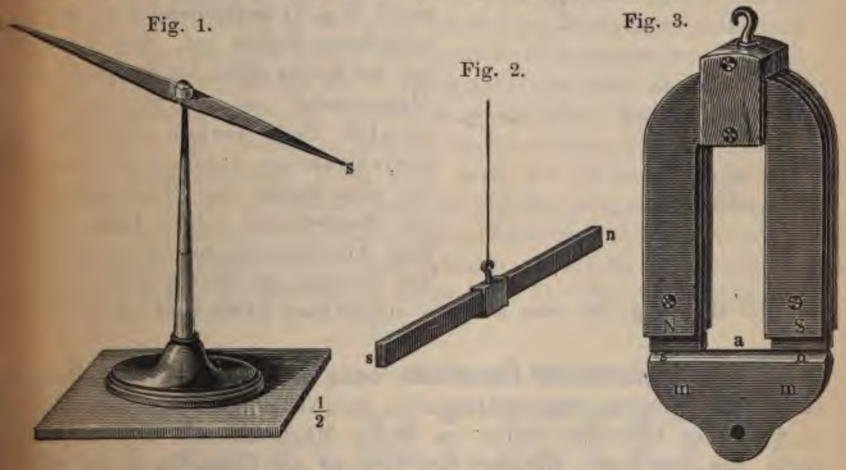
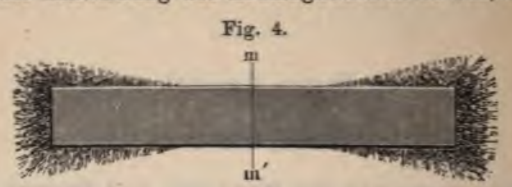


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

förmigem oder rechteckigem Querschnitt oder aus einem an den Enden scharf zugespitzten Stück Stahlblech hergestellt. Magnetnadeln der letzteren Art (Fig. 1) besitzen in der Mitte meist ein Achathütchen, mit welchem sie auf eine Stahlspitze gesetzt werden können. 2. Magnetstäbe mit kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt (Fig. 2). Hufeisenförmige Magnete (Fig. 3)

§ 2. Pole des Magneten. Legt man den Magnetstab (Fig. 4) in Eisenfeilspäne, so haften diese besonders an den Enden, den Polen des Magneten. Nach der Mitte des Magneten zu wird die Anziehungskraft immer geringer und in der Mitte selbst — in der indifferenten Zone oder Mittellinie mm' — haften gar keine Feilspäne. Eine auf einer Stahlspitze schwebende Magnetnadel (Fig. 1) stellt sich, wenn nicht in der Nähe Magnete oder gröfsere Eisenmassen vorhanden sind, unter der Einwirkung des Erdmagnetismus so ein, dafs die Ver-

Fig. 4.

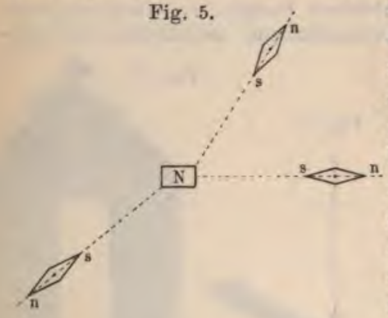


bindungslinie ihrer Pole oder ihre magnetische Achse in der Nord-Süd-Richtung oder im magnetischen Meridian liegt. Hierauf beruht die Verwendung des Magneten im Schiffskompafs als Richtungsanzeiger.

Der Pol des Magneten, welcher sich nach Norden wendet, heifst Nordpol; der andere Südpol.

§ 3. Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstofsung. Ein langer Magnetstab sei vertikal gestellt mit dem Nordpol nach oben. In der horizontalen Ebene durch den Nordpol stellen wir eine Magnetnadel (Fig. 5) nacheinander an verschiedenen Stellen auf. Der Nordpol des Stabes zieht den Südpol der Magnetnadel an. Ungleichnamige Pole ziehen sich an, gleichnamige stofsen sich ab. An allen Stellen der Ebene nimmt die Magnetnadel solche Lage an, dafs ihre magnetische Achse durch den Nordpol des Stabes geht, also mit der Richtung der vom Nordpol ausgeübten Kraft zusammenfällt.

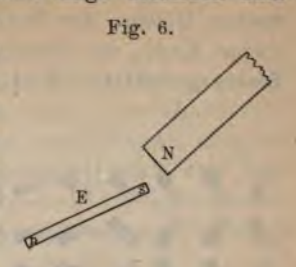
Fig. 5.



§ 4. Magnetische Induktion oder Influenz. Bringt man einen Stab E aus weichem Eisen in die Nähe eines Magnetpoles, so wird der Eisenstab selbst zu einem Magneten und also angezogen von dem Pole. Befindet sich (Fig. 6) der Eisenstab E in der Nähe eines Nordpoles, so wird das Ende, welches diesem Pole am nächsten liegt, ein Südpol; das andere Ende des Stabes ein Nordpol, wie die Untersuchung mit einer in die Nähe gebrachten Magnetnadel zeigt. Je weiter der Eisenstab E vom Magneten entfernt ist,

desto geringer ist der induzierte Magnetismus. Benutzen wir an Stelle von E einen Stab aus Stahl, so ist bei gleicher Lage desselben zum Nordpol der in ihm induzierte Magnetismus viel geringer als im weichen Eisenstabe. Während der letztere aber nach der Entfernung vom Nordpol den Magnetismus bis auf sehr geringe Spuren verliert, behält der Stahl vermöge seiner großen Koerzitivkraft einen beträchtlichen Teil des induzierten Magnetismus auch nach der Entfernung von dem Pole zurück.

Fig. 6.

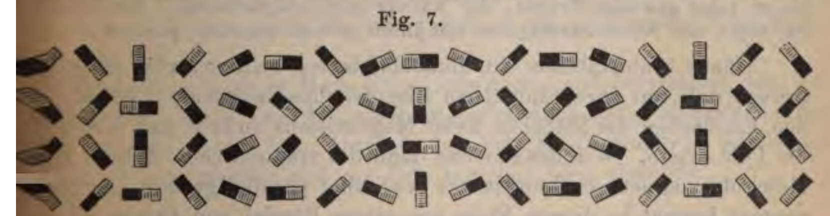


§ 5. Vorstellung über das Wesen des Magnetismus. Zerbricht man einen Magnetstab in zwei oder mehrere Teile, so ist jedes Bruchstück wiederum ein vollständiger Magnet mit zwei Polen. Denken wir uns diese Teilung weiter fortgesetzt, so gelangen wir schließlich zu der Vorstellung, daß jedes Molekül eines Magneten selbst ein Magnet mit zwei Polen ist, d. h. daß die Magnete aus Molekularmagneten oder Elementarmagneten aufgebaut sind.

Über die Verteilung des Magnetismus wollen wir folgende Annahme machen. In jedem Pole des Molekularmagneten sei eine bestimmte magnetische Menge, etwa $= m$, vorhanden, beide Pole des Molekularmagneten enthalten dem Betrage nach die gleiche Menge. Der bei der Einwirkung des Erdmagnetismus auf den Magneten hervortretende Gegensatz zwischen den Polen wird dadurch zum Ausdruck gebracht, daß wir die im Nordpole des Molekularmagneten enthaltene Menge als nordmagnetische oder positive $+m$ bezeichnen, dagegen die im Südpole enthaltene als südmagnetische oder negative $-m$. Die magnetischen Mengen $+m$ und $-m$ haften am Molekül, sie können nicht von Molekül zu Molekül im Eisen weitergegeben werden.

Im unmagnetischen Eisen sind nach der Drehungstheorie von Wilhelm Weber die Molekularmagnete regellos gelagert, so daß ihre magnetischen Achsen in allen Richtungen liegen, und überall sich neben den Nordpolen ebenso viele Südpole befinden, so daß die Gesamtheit der Pole nach außen hin unwirksam bleibt (Fig. 7). Durch die Magneti-

Fig. 7.



sierung werden die Molekularmagnete um ihren ruhenden Mittelpunkt so gedreht, daß die Nordpole sämtlich mehr oder weniger nach

der einen Seite, die Südpole nach der entgegengesetzten Seite sich wenden. In Fig. 8 sind die dunkeln Teile, welche die nordmagnetischen Hälften der Molekularmagnete darstellen sollen, gegen das rechte Ende, die südmagnetischen Hälften gegen das linke Ende des Stabes gerichtet. Wird ein Eisenstab in der Längsrichtung magneti-

Fig. 8.



siert, so werden alle Molekularmagnete dieser Richtung möglichst parallel gestellt. Wenngleich im Innern dieses Stabes neben einem Nordpole sich ein Südpol befindet, so treten an der einen Endfläche des magnetisierten Stabes doch freie Nordpole, am anderen Ende freie Südpole auf.

Im weichen Eisen gelingt die Drehung der Molekularmagnete schon unter der Einwirkung schwächerer magnetisierender Kräfte als im Stahl. Weiches Eisen wird unter gleichen Verhältnissen stärker magnetisiert als Stahl, aber in ersterem kehren die Molekularmagnete sämtlich in ihre ursprüngliche Lage fast vollständig zurück, sobald die magnetisierende Ursache aufgehört hat. Im Stahle dagegen tritt beim Magnetisieren eine Reibungskraft auf, die der Drehung der Molekularmagnete und damit der Magnetisierung hinderlich ist. Diese Reibungskraft — die Koerzitivkraft — hindert aber nach erfolgter Magnetisierung auch ein Zurückdrehen der Molekularmagnete.

Diese Vorstellung von der Konstitution der Magnete wird durch mehrere Tatsachen gestützt. 1. Alle Umstände, durch welche die Molekularmagnete des Eisens erschüttert oder beweglich gemacht werden, beeinflussen die Magnetisierung. Vorsichtiges Klopfen des Magnetstabes während der Magnetisierung soll vorteilhaft sein. 2. Durch Ausglühen werden die Molekularmagnete freier beweglich und kehren in ihre ursprünglichen Lagen zurück, wobei der freie Magnetismus verschwindet. 3. Eisen und Stahl lassen sich nur bis zu einer gewissen Grenze, der Sättigung, magnetisieren, die erreicht ist, wenn alle Molekularmagnete mit ihren Achsen einander parallel stehen.

Dünne Stahlstäbchen (Stahlnadeln) lassen sich derartig magnetisieren, dafs nur ihre Endflächen Eisenteilchen anziehen, d. h. nur an den Endflächen der Stäbchen freier Magnetismus auftritt und an ihnen die Pole liegen. Wir denken uns dann die magnetischen Achsen aller Molekularmagnete der Längsachse des Stabes parallel gestellt, der Stabmagnet besteht in diesem Falle aus einem Bündel von Reihen aneinander hängender Molekularmagnete. Unter diesen Verhältnissen ist der freie Magnetismus einer Endfläche oder die Magnetismusmenge

eines Poles des Magnetstabes gleich der Summe aller magnetischen Mengen m der freien Pole der an dieser Endfläche liegenden Molekularmagnete. Die in einem Pole vorhandene Magnetismusmenge wird auch als Polstärke desselben bezeichnet.

§ 6. **Das Gesetz von Coulomb.** Die Kraft, mit welcher zwei Magnetpole sich gegenseitig anziehen oder abstoſsen, ist dem Produkte der in ihren Polen enthaltenen magnetischen Mengen oder den Polstärken proportional, und dem Quadrate der Entfernung der Pole umgekehrt proportional. Die Richtigkeit dieses Gesetzes ist von Coulomb mit der Drehwage bestätigt.

Die Kraft, mit welcher also zwei dieselbe Magnetismusmenge enthaltende Nordpole im Abstande 2 cm voneinander sich abstoſsen, ist viermal kleiner als im Abstande 1 cm. Zwei Magnetpole, die gleiche Magnetismusmengen von solchem Betrage enthalten, daſs sie beim Abstande 1 cm voneinander sich je nach dem Vorzeichen der Pole mit der Einheit der Kraft anziehen oder abstoſsen, nennt man Einheitspole. Der Einheitspol enthält die Einheit der magnetischen Menge oder hat die Einheit der Polstärke.

Dabei wird das absolute Maſssystem zugrunde gelegt, in welchem als Fundamentaleinheiten der Länge: das Centimeter, der Zeit: die Sekunde und der Masse: das Gramm gewählt sind. Die Krafteinheit des absoluten Maſssystems ist die Dyne, d. h. diejenige Kraft, welche der Masse: ein Gramm die Beschleunigung 1 cm in der Sekunde $\left(\frac{1 \text{ cm}}{\text{sek}^2}\right)$ erteilt. Da das Grammgewicht eine Kraft ist, die der Grammmasse beim freien Falle die Beschleunigung 981 $\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ gibt, und da ferner bei gleichen Massen sich die Kräfte wie die den Massen erteilten Beschleunigungen verhalten, so ist

1 Grammgewicht = 981 Dynen,
1 Kilogrammgewicht = 981 000 Dynen.

Zwei gleiche Magnetpole sind also dann Einheitspole, wenn sie im Abstande 1 cm voneinander sich anziehen oder abstoſsen mit der Kraft 1 Dyne, d. i. eine Kraft, die wenig gröſser als das Gewicht eines Milligramms ist.

Legen wir dieses Maſssystem zugrunde, und bezeichnen wir mit m_1 und m_2 die in zwei Magnetpolen enthaltenen freien Mengen Magnetismus und mit r den Abstand der Pole in Centimeter, so ist die Kraft K, mit welcher sich die Pole anziehen oder abstoſsen

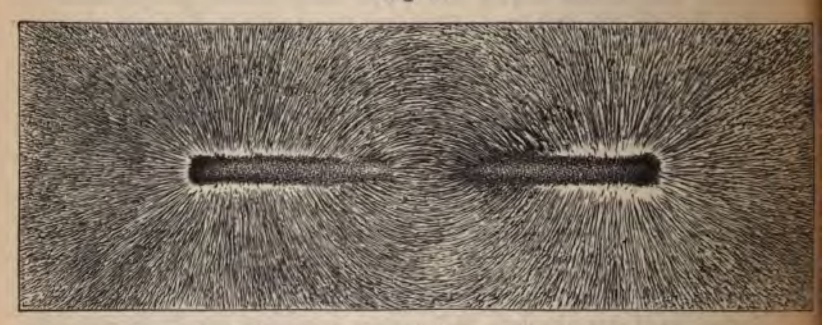
$$K = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ Dyn.} \tag{1}$$

Haben m_1 und m_2 gleiches Vorzeichen (gleichnamige Pole), so ist K positiv und eine Abstofsungskraft; haben dagegen m_1 und m_2 verschiedenes Vorzeichen (ungleichnamige Pole), so ist K negativ und eine Anziehungskraft.

Die Gleichung (1) ist der mathematische Ausdruck des Coulombschen Gesetzes.

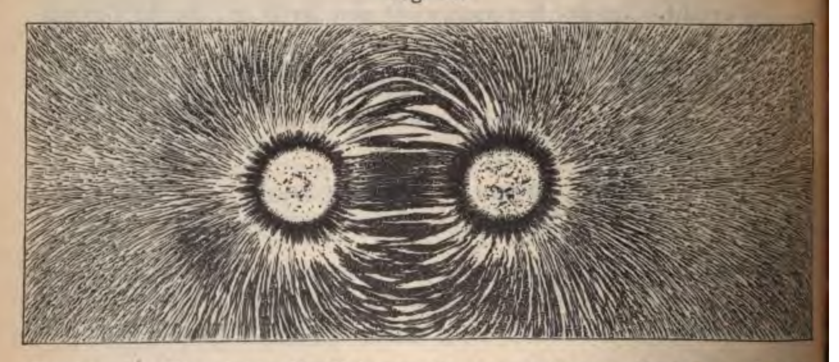
§ 7. Magnetische Kraftlinien. Einen Stabmagneten bedecken wir mit einer Glasplatte und streuen Eisenfeilspäne auf dieselbe mittels eines feinen Siebes. Die Späne werden durch Induktion (vergl. § 4) magnetisch und bilden Kurven zwischen den Polen (Fig. 9). Stellen

Fig. 9.



wir eine kurze Magnetnadel an verschiedenen Punkten der Glasplatte auf, so fällt die Richtung der magnetischen Achse der Nadel mit der Richtung der Tangente der Kurve zusammen, die durch ihren Drehpunkt geht. Die von den Eisenfeilspänen gebildeten Kurven geben also an jedem

Fig. 10.



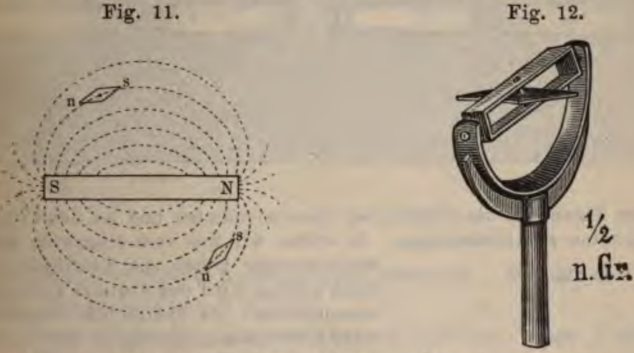
Punkte der Glasplatte die Richtung der magnetischen Kraft an, welche von den Polen des Magneten herrührt. Die Kurven werden daher als magnetische Kraftlinien bezeichnet. Auf der Glasplatte zeigt sich der Verlauf der Kraftlinien nur in einer einzigen durch die Pole gelegten Ebene. In allen anderen durch die Pole gelegten Ebenen erhalten wir ein ähnliches Bild des Verlaufes der Kraftlinien oder Kraftliniendiagramm. Der ganze Raum um den Magneten, der

it den Kraftlinien desselben erfüllt ist, oder in welchem wir noch die
m Magneten herrührende Kraft nachweisen können, heifst das **magne-
sche Feld** des Magneten.

Wird ein hufeisenförmiger Magnet so gestellt, dafs seine Schenkel
rtikal nach oben stehen, so zeigt sich auf einer auf die Pole gelegten Glas-
atte das Diagramm (Fig. 10). Besonders an den scharfen Kanten der Pole
ten die Kraftlinien stark hervor.

Die Richtung, nach welcher der Nordpol einer kleinen im Felde
fgestellten Nadel (Fig. 11) zeigt, ist die **Richtung der Kraft-**

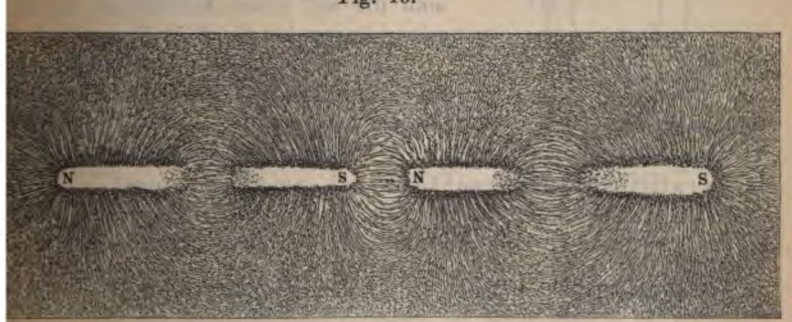
Fig. 11. Fig. 12.



**nien oder die Richtung des Feldes. Die Kraftlinien gehen
mnach vom Nordpol des Magneten aus durch den um-
benden Raum und endigen am Südpol.**

Um an irgend einer Stelle des Feldes die Richtung der Kraftlinien
ermitteln, kann man sich einer kleinen, frei nach allen Richtungen dreh-
ren Magnetnadel bedienen, wie die in Fig. 12 dargestellte, welche von der
rma Hartmann u. Braun als Kraftlinienrichtungszeiger hergestellt wird.
Fig. 13 zeigt das Kraftliniendiagramm bei zwei Stabmagneten, von
nen der eine in der Verlängerung des anderen liegt. Der Nordpol des

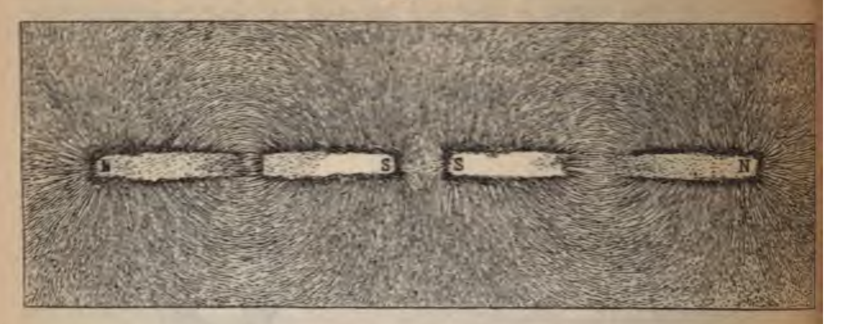
Fig. 13.



nen Magneten steht dem Südpol des anderen gegenüber und die Kraftlinien
hen vom Nordpol des einen Magneten teilweise zum Südpol des anderen
er. In Fig. 14 ist die Lage der Magnetstäbe dieselbe wie in Fig. 13, aber
rei gleichnamige Pole stehen einander gegenüber.

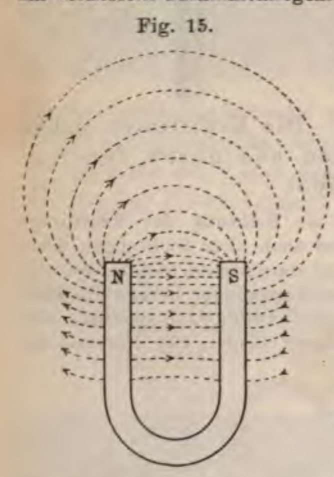
In Fig. 15 ist das Kraftliniendiagramm eines hufeisenförmigen Magneten schematisch dargestellt. In der Nähe der Polflächen ist die auf die Eisenspäne ausgeübte Kraft am gröfsten, zugleich zeigt das Kraftliniendiagramm, dafs

Fig. 14.



nach den Polen hin die Kraftlinien zusammenlaufen und an den Polen selbst am dichtesten zusammenliegen. Je weiter wir uns vom Magneten entfernen, desto weniger treten die Kraftlinien hervor, desto gröfser wird der Abstand zwischen zwei benachbarten. Je dichter die Kraftlinien an einer Stelle zusammenliegen, desto gröfser ist an ihr auch die magnetische Kraft. Das Kraftliniendiagramm gibt nicht nur Aufschlufs über die Richtung der magnetischen Kraft im Felde, sondern läfst auch aus einem Vergleiche der Dichte der Kraftlinien an zwei Orten des Feldes auf das Verhältnis der Gröfsen der magnetischen Kräfte an ihnen schliefsen.

Fig. 15.



Unter der Feldstärke in einem Punkte des magnetischen Feldes versteht man die auf einen Einheitspol in demselben ausgeübte Kraft in Dynen.

Um auch durch die Kraftlinien an jeder Stelle des Feldes die Feldstärke anzugeben, denkt man sich so viele Kraftlinien im Felde gezogen, dafs an jedem Punkte auf eine zur Richtung der Kraftlinien senkrechte Flächeneinheit (qcm) so viele Kraftlinien treffen, dafs die Zahl derselben numerisch gleich der Feldstärke in dem betrachteten Punkte ist.

Wird also in einem Felde auf einen Einheitspol die Kraft 20 Dynen ausgeübt, so müssen nach der obigen Definition durch ein Quadratcentimeter an der betrachteten Stelle 20 Kraftlinien gehen, wobei die Fläche des Quadratcentimeters zur Richtung des Feldes senkrecht liegt.

Ein Magnetfeld, in welchem die Kraftlinien parallel sind und dessen Feldstärke in allen Punkten dieselbe ist, heifst ein homogenes oder gleichförmiges Feld. In diesem ist die Kraftliniendichte konstant.

§ 8. Magnetischer Kreis. Permeabilität. Bislang ist nur r Verlauf der magnetischen Kraftlinien aufserhalb des Magneten trachtet. Im Innern des Magneten werden die Kraftlinien durch e Reihen der Molekularmagnete (Fig. 16) fortgesetzt, so dafs daselbst

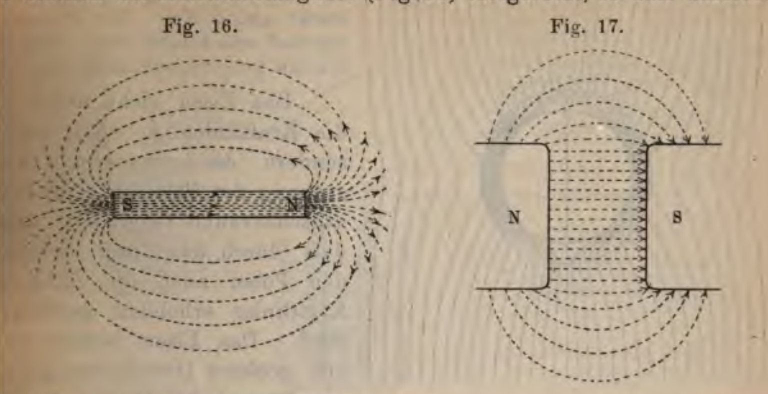


Fig. 16. Fig. 17.

e Kraftlinien vom Südpol zum Nordpol verlaufen. Die Kraftlinien nd also geschlossene Kurven.

Die Gesamtheit der magnetischen Kraftlinien eines Magneten ennen wir den magnetischen Kreis desselben.

Nur an den Stellen der Oberfläche, wo Kraftlinien in den Magneten n- oder austreten, liegen freie Magnetpole und wird unmagnetisches isen angezogen (siehe Fig. 4).

Zwischen den parallelen Polflächen (Fig. 17) eines Magneten ntsteht, besonders im mittleren Teil, ein gleichförmiges Feld. In iesem Teil des Feldes befestigen wir ein kurzes Stäbchen aus unagnetischem Eisen. Das Diagramm (Fig. 18) zeigt uns, dafs die

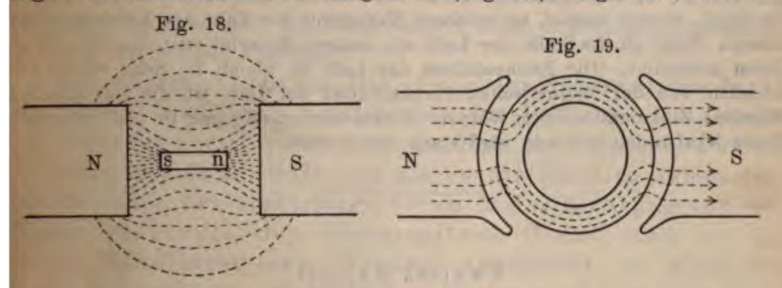


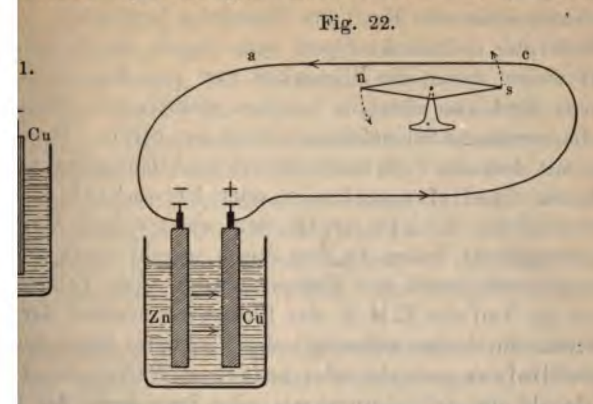
Fig. 18. Fig. 19.

raftlinien in dem Stäbchen zusammengezogen werden. An der Stelle, o die Kraftlinien in das Eisenstäbchen eintreten, entsteht ein Südpol.

Zwischen den cylindrisch ausgebohrten Polschuhen eines Magneten liegt entrisch ein Ring aus weichem Eisen. Der Verlauf der Kraftlinien ist chematisch in Fig. 19 dargestellt. In beiden Luftzwischenräumen gehen ie Kraftlinien in radialer Richtung, also auf dem kürzesten Wege zwischen olschuh und Ring über.

n Enden der beiden Platten werden mit Klemmschrauben
men versehen, die zur Verbindung des Elementes mit
eitung dienen sollen. Zwischen den beiden Polklemmen
rische Spannungsdifferenz vorhanden. Verbindet

Fig. 22.



Polklemmen des Voltaschen Elementes (Fig. 21) durch
aht, so fliefst durch denselben infolge der Spannungs-
lektrischer Strom.

il ac des Drahtes spannen wir geradlinig aus und
it schneller Bewegung über die Magnetnadel (Fig. 22),
aht ac selbst im magnetischen Meridian liegen soll.
del wird dabei aus der Nord-Süd-Lage abgelenkt,
ektrische Strom in der Nähe fliefst. Lösen wir die Ver-
Metalldrahtes an einer der Polklemmen, d. h. schalten
ldraht aus, so kehrt die Magnetnadel in ihre Nord-Süd-
Vertauschen wir an den Polklemmen die Enden des
so wird die Magnetnadel nach der entgegengesetzten
vorher abgelenkt.

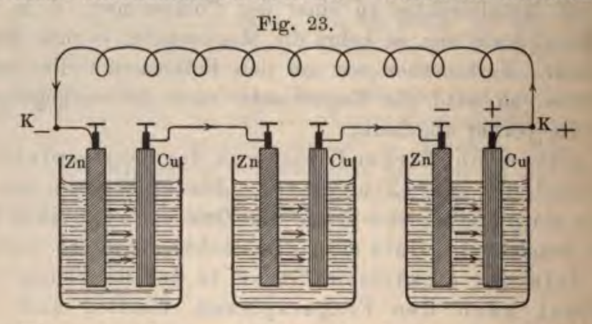
trische Strom fliefst von der Kupferplatte durch
raht zur Zinkplatte. Die Polklemme am Kupfer
positiver (+), die am Zink als negativer Pol des
eichnet. Hält man die rechte Hand so neben dem
der elektrische Strom in der Richtung von der
nach den Fingerspitzen fliefst, und ist die
lfläche dem Nordpol zugekehrt, so wird der
ch den elektrischen Strom nach der Seite des
en Daumens abgelenkt (siehe Fig. 45).

ische Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen des
r die Polklemmenspannung entsteht infolge der
rischen Kraft (E. M. K.), welche bei der Berührung
en mit der verdünnten Säure auftritt. Da diese elektro-
ft fortgesetzt tätig ist, solange das Element zusammen-

gesetzt ist, so bleibt auch die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen bestehen, und wir erhalten daher einen dauernden Strom in dem die Pole verbindenden Draht. Durch den Strom sucht sich die Spannungsdifferenz auszugleichen, sie wird aber sogleich wieder durch die elektromotorische Kraft des Elementes hergestellt. Vom negativen Pol fliefst der elektrische Strom dann durch die Zinkplatte (Zinkelektrode) weiter durch die Flüssigkeit und zum Kupferpol zurück. Das Element wird also ebenfalls von dem elektrischen Strom durchflossen, und die verdünnte Schwefelsäure leitet den Strom. Das Element bildet daher mit dem die Pole verbindenden Schliefsungsdraht einen ununterbrochenen Schliefsungskreis oder Stromkreis. Die elektromotorische Kraft erhält den elektrischen Strom im ganzen Schliefsungskreis, indem sie den Strom sowohl durch den Schliefsungsdraht als auch durch das Element treibt. Die Polklemmenspannung ist nur ein Teil der E. M. K. des Elementes, nämlich derjenige, welcher den Strom durch den aufserhalb des Elementes liegenden Stromweg — den Schliefsungsdraht oder äufseren Widerstand — treibt.

Sobald der Schliefsungskreis oder Stromkreis des Elementes hergestellt ist, fliefst durch jeden Querschnitt des ganzen Schliefsungskreises die gleiche Elektrizitätsmenge. Unter der Stärke des elektrischen Stromes — Stromstärke — versteht man die Elektrizitätsmenge, welche durch einen beliebigen Querschnitt des Schliefsungskreises in der Sekunde hindurchgeht. Die Stromstärke ist an allen Stellen eines unverzweigten Schliefsungskreises dieselbe. Dabei gehen wir von der Vorstellung aus, dafs die Elektrizität — als ein unwägbares, durch die Sinne nicht wahrnehmbares Fluidum — durch die elektromotorische

Fig. 23.



Kraft des Elementes dauernd und stetig durch den Schliefsungskreis getrieben wird, solange dieser nicht an irgend einer Stelle unterbrochen oder geöffnet wird. Das Vorhandensein des elektrischen Stromes können wir nur durch die Wirkungen desselben kennen lernen, und wir wollen daher in § 10 und 12 einige dieser Wirkungen zunächst behandeln.

Um eine gröfsere E. M. K. und Polklemmenspannung als bei einem Elemente zur Verfügung zu haben für einige der in § 10 beschriebenen

Versuche, verbinden wir mehrere Voltasche Elemente in Hintereinanderschaltung miteinander. Hierbei ist der Zinkpol des einen Elementes mit dem Kupferpol des nächsten verbunden. Fig. 23 stellt eine Batterie von drei hintereinander oder „in Reihe" geschalteten Voltaschen Elementen dar. K_+ und K_- sind die beiden Polklemmen der Batterie. Alle drei Elemente treiben den Strom in der gleichen Richtung durch den Schliefsungskreis, und die elektromotorische Kraft der Batterie ist dreimal so grofs als bei Anwendung nur eines Elementes. Demgemäfs ist auch die Polklemmenspannung — die Spannungsdifferenz zwischen K_+ und K_-, zwischen denen ein Metalldraht als äufserer Widerstand eingeschaltet ist — gröfser als bei Anwendung eines Elementes. Die gröfsere elektromotorische Kraft bringt einen stärkeren Strom im Schliefsungskreise hervor. Die Gesetze, nach denen sich die Stromstärke berechnen läfst, sind in § 13 angegeben.

§ 10. Chemische Wirkungen des Stromes. Elektrolyse. Ein metallischer Leiter erfährt beim Durchgang des elektrischen Stromes keine chemische Veränderung. Eine Flüssigkeit, wie verdünnte Schwefelsäure, Kochsalzlösung u. s. w., leitet den elektrischen Strom nur, indem sie zugleich chemisch zersetzt wird. Flüssigkeiten, die selbst ein Metall sind, wie das Quecksilber, verhalten sich wie feste Metalle und werden nicht zersetzt. Solche Flüssigkeiten, wie reines Wasser, Petroleum, Alkohol u. a. m., die nicht durch den Strom zersetzt werden, leiten ihn auch nicht. Man unterscheidet zwischen den Leitern erster Klasse, zu denen die Metalle und die Kohle gehören, und den Leitern zweiter Klasse, die durch den elektrischen Strom zersetzt und Elektrolyte genannt werden. Der Vorgang der Zersetzung durch den elektrischen Strom wird als Elektrolyse bezeichnet. Reines Wasser, Alkohol, Petroleum u. a. m. gehören wie Glas, Ebonit, Kautschuk, Seide u. s. w. zu den Isolatoren, die den Strom überhaupt nicht oder nur in sehr geringem Mafse leiten.

Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure.

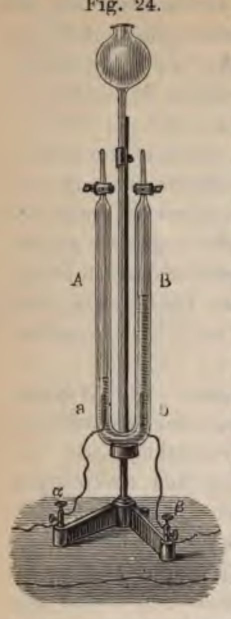
Taucht man zwei Platinplatten, von denen die eine durch einen Kupferdraht mit K_+, die andere mit K_- der nach Fig. 23 angeordneten Batterie von sechs Elementen[1]) verbunden ist, in geringem Abstande voneinander in verdünnte Schwefelsäure, so beobachtet man, dafs an beiden Platten Gasbläschen aufsteigen; in der Flüssigkeit zwischen den Platten bilden sich keine Gasbläschen.

Mittels des in Fig. 24 dargestellten Apparates kann man die an den Platinplatten — den Elektroden — entwickelten Gasmengen auffangen. Das mit Schwefelsäure (H_2SO_4) angesäuerte Wasser befindet sich in dem

[1]) Für diese Versuche werden des bequemen Gebrauches wegen meist Akkumulatoren (vergl. § 81) benutzt.

U-förmigen Glasrohre, durch dessen Schenkel zwei Zuleitungsdrähte bei *a* und *b* hindurchgehen, von denen jeder eine Elektrode aus Platinblech trägt. Die Elektrode *b* ist mit $K+$, dagegen *a* mit $K-$ der Batterie verbunden. Vor dem Schliefsen des Stromes läfst man durch Öffnen der Glashähne beide Röhren sich mit der verdünnten Säure füllen.

Fig. 24.



Die mit dem —-Pol der Batterie verbundene Platinelektrode ist die Kathode, die mit dem +-Pol verbundene ist die Anode. Der elektrische Strom fliefst von der Anode *b* durch die Flüssigkeit zur Kathode *a*. Die Untersuchung zeigt, dafs an der Kathode zwei Raumteile Wasserstoff ausgeschieden werden, während an der Anode sich ein Raumteil Sauerstoff bildet. Die ausgeschiedenen beiden Grundstoffe H und O sind aber die Bestandteile des Wassers und beide werden genau in dem Mengenverhältnis entwickelt, in welchem sie im Wasser vorkommen. Der ganze Vorgang wird daher als Elektrolyse des Wassers bezeichnet.

In Wirklichkeit wird das Wasser nicht unmittelbar durch den Strom zersetzt, reines Wasser ist überhaupt kein Elektrolyt. Zersetzt wird in der Tat nur die Schwefelsäure H_2SO_4, und zwar so, dafs der Wasserstoff H_2 an der Kathode, der „Säurerest" SO_4 an der Anode abgeschieden wird. Der „Säurerest" SO_4 kann für sich nicht bestehen, sondern entnimmt dem Wasser H_2O den zur Bildung von Schwefelsäure nötigen Teil Wasserstoff, nämlich H_2, wobei die entsprechende Menge Sauerstoff O frei wird. Der Sauerstoff ist demnach nicht unmittelbar durch den elektrischen Strom abgeschieden, sondern erst durch einen sekundären Prozefs hervorgebracht, in welchem der abgeschiedene Säurerest auf das Lösungsmittel der Schwefelsäure, das Wasser, wirkt.

Elektrolyse des schwefelsauren Natriums, Na_2SO_4 (Glaubersalz).

In ähnlicher Weise wie die Schwefelsäure werden in Wasser gelöste Salze durch den elektrischen Strom zersetzt. Bei der Elektrolyse zwischen Platinelektroden wird das Metall Natrium an der Kathode, dagegen der Säurerest SO_4 an der Anode ausgeschieden, der sich ebenso wie bei der vorher besprochenen Elektrolyse zu H_2SO_4 durch einen sekundären Prozefs ergänzt, bei welchem Sauerstoff frei wird. Das Natrium entzieht dem Lösungswasser Sauerstoff und bildet sich um zu Natronlauge (Natriumhydroxyd, $NaHO$), wobei Wasserstoff frei wird:

$$Na_2 + 2H_2O = 2(NaHO) + \overset{\nearrow}{H_2}.$$

Färbt man durch Blutkrautabkochung die an sich farblose Glaubersalzlösung violett und nimmt man die Elektrolyse mit dem in Fig. 24 abgebildeten Apparate vor, so wird die Flüssigkeit an der Anode durch die Säure rot, an der Kathode durch die Lauge $NaHO$ grün gefärbt. Derartige Mittel dienen zur Bestimmung des +- und —-Poles der Stromquelle, wenn diese nicht ohne weiteres kenntlich sind. Bequemer ist es, der Lösung des Glaubersalzes einige Tropfen der farblosen Lösung von Phenolphtaleïn

$_{20}H_{14}O_4$) in Alkohol zuzusetzen. Die bei der Elektrolyse entstehende auge färbt die Lösung an der Kathode karminrot. Tränkt man einen treifen Fliefspapier mit der Lösung von Na_2SO_4 und einem geringen Zu-tz der Phenolphtaleïnlösung, und setzt man an die Enden des Streifens ie beiden mit den Polen einer Stromquelle verbundenen Drähte auf, so interläfst die mit dem negativen Pol verbundene Drahtspitze einen roten 'leck (Polreagenzpapier).

Verfährt man ebenso mit einem mit Jodkaliumlösung und Stärkekleister befeuchteten Papier, so entsteht an dem mit dem positiven Pol verbundenen Drahtende ein blauer Fleck, indem das daselbst abgeschiedene Jod den Kleister blau färbt.

§ 11. Gesetz von Faraday. Knallgas- und Silbervoltameter.

Bei den im § 10 besprochenen Elektrolysen und allen anderen sind die Quantitäten der an den Elektroden abgeschiedenen Bestandteile von der Gestalt, Gröfse und Entfernung der Elektroden ganz unabhängig, sondern allein durch die Stärke des elektrischen Stromes und durch die Zeit des Stromdurchganges bestimmt.

Die an den Elektroden ausgeschiedenen Gewichts-mengen eines Metalles oder Raummengen eines Gases sind der Stromstärke und der Zeit des Stromdurchganges proportional.

Auf Grund dieses Gesetzes kann man Stromstärken durch Elektrolyse von angesäuertem Wasser oder einer Salzlösung messen. Die hierzu verwendeten Apparate heifsen Voltameter (Gewichts- und Volumenvoltameter).

Fig. 25.



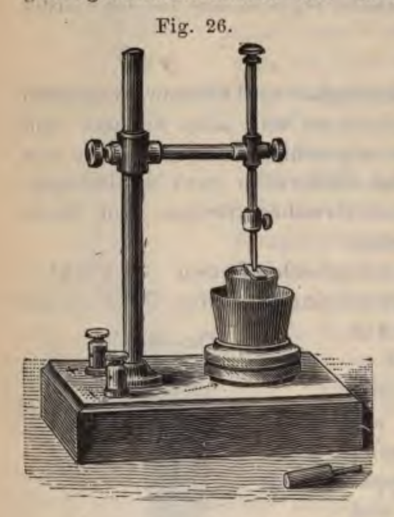
Fig. 25 zeigt eine von Kohlrausch angegebene Form des Apparates zur Wasserzersetzung. Ein etwa 38 mm weites, in je ccm geteiltes, kalibriertes Glasrohr ist in in weiteres Standgefäfs, das seitlich einen 'ubus mit Stöpsel trägt, eingeschliffen. Mittels urchbohrter Kautschukstopfen werden die latinelektroden seitlich in das Mefsrohr eingeführt. Bei dieser Anordnung erhält man urch die Elektrolyse eine Mischung von Rtl. Sauerstoff und 2 Rtln. Wasserstoff, d. h. nallgas. Die Stromstärke, bei der in einer Minute 10,24 ccm Knallgas entwickelt werden, gemessen bei 0° und 760 mm Druck, wird s ein Ampère bezeichnet. Diejenige Elektrizitätsmenge, welche bei dieser Stromstärke ro Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fliefst, ist ein Coulomb. er in Fig. 25 dargestellte Apparat kann also als Knallgasvoltameter zur essung der Stromstärke dienen. Der Gebrauch desselben ist für praktische wecke zu umständlich, da eine Reduktion des entwickelten Gasvolumens nach n Gesetzen von Mariotte und Gay-Lussac auf 0° und 760 mm Druck rgenommen werden mufs. Immerhin können Ströme bis 30 Amp. mit dem

Apparat gemessen werden, und im Laboratorium dient derselbe zur Eichung elektromagnetischer Strommesser (vergl. § 12).

Das Silbervoltameter dient insbesondere zur Eichung und Prüfung der Apparate, welche durch elektromagnetische Wirkungen die Stärke schwacher Ströme messen (vergl. das in § 25 beschriebene Milli-Volt- und Ampèremeter von Siemens und Halske).

Fig. 26 stellt das von Hartmann und Braun in Bockenheim angefertigte Silbervoltameter dar. In einem dicken Messingringe auf der Grundplatte des Instrumentes, die mit der einen Polklemme in Verbindung steht, wird ein Becher aus Platin eingesetzt, der als Kathode dient und mit einer 15- bis 30 prozentigen Lösung von salpetersaurem Silber gefüllt wird. In die Lösung taucht ein von einem Halter aus Messing getragener Silberstift als Anode. Das Silber erhält man als weifsen glänzenden Niederschlag auf der Innenseite der Kathode, und die Menge des entwickelten Silbers kann durch Wägung des Platintiegels vor und nach dem Versuche ermittelt werden.

Fig. 26.



Ein Ampère scheidet pro Sekunde 1,118 mg Silber aus. Diese Menge bezeichnet man als das elektrochemische Äquivalent des Silbers.

Ist A das elektrochemische Äquivalent eines Metalles in Milligramm, i die Stromstärke in Ampère und t die Zeit des Stromdurchganges in Sekunden, so ist die Menge M des abgeschiedenen Metalles an der Kathode

$$M = A \,.\, i \,.\, t \text{ mg}. \tag{2}$$

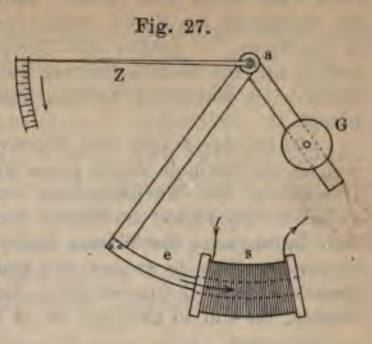
Bei der Elektrolyse einer verdünnten Säure wird an der Kathode stets der Wasserstoff oder bei der Elektrolyse von Salzen das Metall niedergeschlagen, während der „Säurerest“ an der Anode auftritt.

§ 12. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes. Strommesser. Auf die Wirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel ist bereits im § 9 hingewiesen. Die Stärke der durch den elektrischen Strom hervorgebrachten Ablenkung der Magnetnadel aus dem magnetischen Meridian gibt ein Mittel, die Stromstärke zu messen. Für viele in der Technik verwendete Strommesser kommt dagegen die in Fig. 27 dargestellte Wirkung des elektrischen Stromes zur Anwendung.

Auf einer Spule s aus Isoliermaterial (Fig. 27) ist isolierter Kupdraht in zwei oder mehreren Lagen mit dicht nebeneinander liegenden Wdungen aufgewickelt. An einem Arme des um a drehbaren Winkelhe

Stück weiches Eisenblech e befestigt. Am Ende des zweiten Armes
t sich ein Gegengewicht G. Verbindet man die Drahtenden der Spule
den Polen der Voltaschen Batterie,
gt sich, dafs der Eisenkörper in
nere der Spule hineingezogen wird.
hren wir die Zahl der in Reihe ge-
ten Elemente und damit die Strom-
so wird der Eisenkörper tiefer ein-
n. Der am Hebel bei o befestigte
z zeigt an, wie sehr der Eisen-
in die Spule gezogen wird. Wir
n später (§ 21) sehen, dafs der Eisen-
durch den elektrischen Strom mag-
rt wird, und dafs die Zugkraft auf
echselwirkung zwischen dem elek-
n Strom und dem magnetisierten
r beruht.

Fig. 27.



Diese Wirkung ist bei dem in Fig. 28 abgebildeten Strommesser
Ampèremeter von Hartmann und Braun benutzt. Der Eisen-
r taucht mit dem unteren
in die Spule und hängt
er Spiralfeder. Der Zug-
der stromdurchflossenen
wirkt die der Spiral-
entgegen. Die Bewegung
isenkörpers wird durch
ebelwerk auf den Zeiger
agen, der direkt die
stärke in Ampère an-
Vor dem Gebrauche
dieses Instrument mit
Voltameter oder mit
bereits geeichten In-
ent (Normalinstrument)
t werden, wobei man
e verschiedenen Zeiger-
ngen die Stromstärken
elt.

Fig. 28.



13. **Das Ohmsche Gesetz.** Wird ein Metalldraht wie in
it den Polen einer galvanischen Batterie verbunden, so entsteht
e der E. M. K. der Batterie eine elektrische Spannungsdifferenz
en den Enden des Drahtes und durch den Draht fliefst ein elek-
r Strom. Wir wollen zunächst untersuchen, von welchen Um-
n die Stärke des elektrischen Stromes in diesem Drahte, der den
en Widerstand des Schliefsungskreises bildet, abhängt.

lektrische Spannungsdifferenz ist analog der Temperaturdifferenz. Dem
grade oder der Temperatur entspricht die Spannung. Befinden sich

die Enden eines Metallstabes auf verschiedener Temperatur, so geht ein Wärmestrom durch den Metallstab von dem Ende mit höherer Temperatur nach dem Ende mit tieferer Temperatur. Wir sehen ab von der durch die Oberfläche des Stabes erfolgenden Ausstrahlung. Der Wärmestrom ist um so kräftiger, je gröfser die Temperaturdifferenz zwischen den Enden des Stabes ist. Die Metalle besitzen verschiedenes Wärmeleitungsvermögen, unter ihnen leitet Silber am besten, auch Kupfer gehört zu den besten Wärmeleitern.

Unter der Stärke des Wärmestromes verstehen wir die Wärmemenge, welche pro Sekunde durch einen Querschnitt des Metallstabes hindurchgeht. Die Stärke des Wärmestromes hängt aufser von der Temperaturdifferenz zwischen den Enden des Stabes auch von dem Widerstande ab, den der Stab dem Durchgange der Wärme leistet. Dieser Widerstand ist um so kleiner, je kürzer der Stab, je gröfser sein Querschnitt und Wärmeleitungsvermögen ist. Zwischen je zwei Querschnitten des Stabes ist eine Temperaturdifferenz vorhanden, die um so geringer ist, je näher die Querschnitte beieinander liegen.

Ähnliche Betrachtungen gelten auch für die elektrische Strömung in dem Metalldrahte (Fig. 23) zwischen den Polklemmen der Batterie. Unter der Stärke des elektrischen Stromes verstehen wir die Elektrizitätsmenge, welche in der Sekunde durch den Drahtquerschnitt fliefst. Am +-Pol (Kupfer) der Batterie ist die Spannung gröfser als am —-Pol (Zink). Die Elektrizität strömt von den Stellen höherer Spannung zu denen niedriger Spannung. Zwischen je zwei Querschnitten des Drahtes ist eine elektrische Spannungsdifferenz vorhanden, die aber um so kleiner wird, je näher die Querschnitte beieinander liegen.

Die Stärke des elektrischen Stromes in dem betrachteten Draht ist um so gröfser, je gröfser die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Drahtes und je kleiner der elektrische Widerstand desselben ist. Bezeichnen wir also mit e die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Drahtes oder die Polklemmenspannung der Batterie, mit w den Widerstand des Drahtes, der die Polklemmen verbindet, so können wir die Stromstärke i ausdrücken durch

$$i = \frac{e}{w}. \tag{3}$$

Wie bei der Wärmeströmung ist auch hier der Widerstand, den der Draht dem Durchgange des elektrischen Stromes leistet, um so gröfser, je länger der Draht ist und je kleiner der Querschnitt und das spezifische Leitungsvermögen des Drahtes sind. Setzt man das spezifische elektrische Leitungsvermögen des Quecksilbers = 1, so zeigt die Untersuchung, dafs

das spezifische Leitungsvermögen des Silbers etwa = 60
„ „ „ „ Kupfers „ = 55 — 57
„ „ „ „ Eisens „ = 10

ist. Der elektrische Widerstand eines Leiters von der Länge und dem überall gleichen Querschnitt q wird ausgedrückt durch

(4) $$w = \frac{L}{q \cdot \lambda},$$

wobei λ das spezifische Leitungsvermögen bedeutet. Dabei sind die Einheiten für L und q zunächst noch willkürliche. Nach dem in der Elektrotechnik gebrauchten absoluten Mafssystem ist als Einheit des elektrischen Widerstandes „das Ohm“ eingeführt, d. h. der elektrische Widerstand, den ein Faden aus reinem Quecksilber von 1063 mm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° C. dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzt.

Legt man diese Widerstandseinheit zugrunde, so ergibt die Gleichung (4) den Widerstand des betrachteten Leiters in Ohm (Ω), wenn L in Meter und q in Quadratmillimeter ausgedrückt wird. Wird $L = 1$ m und $q = 1$ qmm gewählt, so wird $w = \frac{1}{\lambda}$, d. h. der Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt — der spezifische Widerstand c — ist gleich dem reziproken Werte des spezifischen Leitungsvermögens:

(5) $$c = \frac{1}{\lambda}.$$

Der spezifische Widerstand wird in Ohm angegeben, er hängt von der Reinheit, mechanischen Behandlung und von der Temperatur des Leiters ab.

Tabelle der spezifischen Widerstände.

Material	Spezifischer Widerstand bei 18° = c	λ = spez. Leitungsvermögen bei 18°
Kupfer	0,017	58
Eisen	0,09 — 0,15	11 — 6,6
Neusilber	0,16 — 0,40	6,25 — 2,5
Platin	0,108	9,26
Blei	0,21	4,8
20 Proz. wässerige Lösung von Chlornatrium	—	0,000 183
20 Proz. wässerige Schwefelsäurelösung	—	0,000 611

Zur Berechnung des elektrischen Widerstandes w eines Leiters von der Länge L (Meter) und dem Querschnitt q (Quadratmillimeter) erhalten wir also die Formeln

(6) $$w = \frac{Lc}{q} \text{ Ohm } (\Omega),$$

(7) $$w = \frac{L}{q \cdot \lambda}\ \Omega.$$

Als Einheit der elektrischen Stromstärke ist bereits früher da Ampère erklärt worden (vergl. S. 16).

Als Einheit der Spannungsdifferenz gilt das Volt, d. i. nach der Gleichung (3) die Spannungsdifferenz, welche zwischen den Endpunkten eines Quecksilberfadens oder überhaupt eines Leiters von 1 Ω Widerstand vorhanden ist, wenn durch ihn der Strom 1 Ampère fliefst.

Führen wir diese Einheiten für die Messung der in der Gleichung (3) auftretenden Gröfsen ein, so ist

$$i\ (\text{Ampère}) = \frac{e\ (\text{Volt})}{w\ (\text{Ohm})} \tag{8}$$

oder in Worten:

$$\text{Stromstärke in einem Leiter in Ampère} = \frac{\text{Spannungsdifferenz zwisch. d. Enden d. Leiters in Volt}}{\text{Widerstand des Leiters in Ohm}}$$

Dieses ist der Ausdruck des Ohmschen Gesetzes.

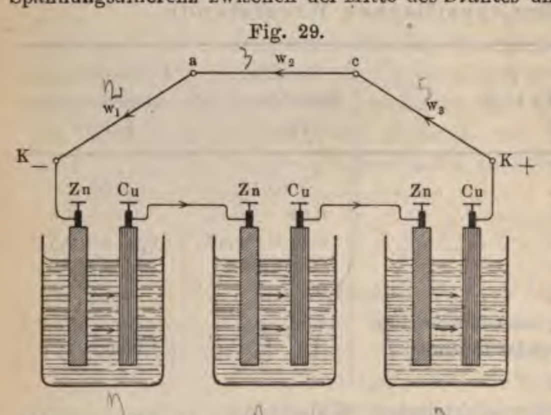
Nach diesem Gesetze ist

$$e = i \cdot w, \tag{9}$$

d. h. die Spannungsdifferenz zwischen den Endpunkten eines Leiters (die in dem Leiter verbrauchte Spannung) ist gleich der Stromstärke, multipliziert mit dem Widerstande des Leiters.

Sind also die Polklemmen einer Batterie durch einen Leitungsdraht von überall gleichem Querschnitte und Leitungsvermögen verbunden, so ist die Spannungsdifferenz zwischen der Mitte des Drahtes und jedem Ende desselben nur $e/2$ Volt, wenn e die Polklemmenspannung ist. Das Ohmsche Gesetz gilt nicht allein für den ganzen Schliefsungsdraht zwischen den Polklemmen, sondern für jeden beliebigen Teil desselben. Verbindet man also die Polklemmen der Batterie durch drei verschiedene Metalldrähte in solcher Weise, dafs (Fig. 29) das Ende des einen Drahtes immer mit dem Anfange des nächsten verbunden ist, so dafs ein einfacher Schliefsungskreis zustande kommt, d. h. die drei Metalldrähte hintereinander geschaltet sind, so ist die elektrische Stromstärke in allen dieselbe. Ist die Stromstärke i Amp. und sind w_1, w_2 und w_3 bezw. die Widerstände der drei Drähte in Ohm, so ist die Spannungsdifferenz zwischen

Fig. 29.

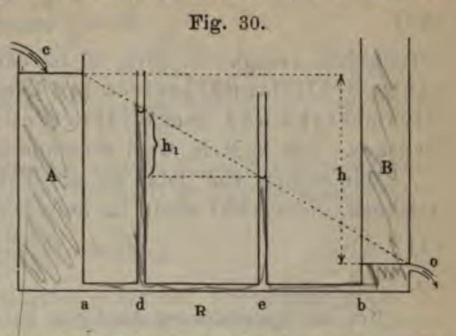


$K+$ und c . . . . . . $e_3 = i \cdot w_3$ Volt,
c und a . . . . $e_2 = i \cdot w_2$ „
a und $k-$ . . . . . . $e_1 = i \cdot w_1$ „

Ferner ist $e_1 + e_2 + e_3 = e$ = Polklemmenspannung der Batterie.

Um die Richtigkeit des Ohmschen Gesetzes anschaulich zu machen, betrachten wir noch folgendes hydraulische Analogon (Fig. 30). Zwei Gefäfse A und B seien durch ein überall gleich weites und horizontal liegendes Rohr R miteinander verbunden. In A ströme aus der Leitung c so viel Wasser ein, wie aus der Öffnung o in B abfliefst. Dann ist zwischen den freien Oberflächen des Wassers in beiden Gefäfsen die unveränderliche Niveaudifferenz h vorhanden. Das Wasser strömt aus dem Gefäfs A von höherem Niveau zu dem Gefäfse B mit niedrigerem Niveau. Unter der Stromstärke im Rohre R verstehen wir die Wassermenge, welche pro Sekunde durch jeden Querschnitt des Rohres getrieben wird. Die Stromstärke ist um so gröfser, je gröfser die Druckdifferenz zwischen Anfang a und Ende b des Rohres ist. Diese Druckdifferenz ergibt sich aus der Niveaudifferenz h. An den Stellen d und e seien in das Rohr R Glasröhren eingesetzt. Durch die Höhe der Wassersäulen in d und e wird an diesen Stellen der im Rohre vorhandene Druck gemessen. Im Rohre d steht das Wasser um h_1 höher als in e; h_1 gibt den Druck an, der beim Strömen des Wassers vom Querschnitte d bis nach e verbraucht wird. Die in den drei Teilen $a-d$, $d-e$, $e-b$ verbrauchten Drucke sind gleich dem Gesamtdruck zwischen a und b. Die Stromstärke im Rohre R ist ferner um so gröfser, je kleiner der Widerstand ist, den das Rohr dem Durchströmen der Wassermasse entgegensetzt. Dieser Widerstand wächst ebenfalls mit der Länge des Rohres und fällt um so gröfser aus, je kleiner der Querschnitt ist. Vom Material des Rohres dagegen ist der Widerstand bei der Wasserströmung nicht abhängig, dagegen sehr von der Gestalt bezw. von den Krümmungen des Rohres. Der Widerstand, den der elektrische Strom unserer Batterie (Fig. 23) in einem Leitungsdraht zu überwinden hat, ist gleich, ob wir den Draht geradlinig ausspannen oder zu einer Spirale (Spule) aufwickeln. Dagegen ist der elektrische Widerstand eines Leiters, wie bereits hervorgehoben, in hohem Mafse vom Material des Leiters abhängig. Sehen wir von diesen Verschiedenheiten zwischen der Wasserströmung und dem elektrischen Strome ab, die sich einfach daraus ergeben, dafs in einem Falle eine schwere Flüssigkeit mit innerer Reibung und Reibung an den Rohrwänden bewegt wird, während im anderen Falle ein unwägbares elektrisches Fluidum durch den massiven Draht von Teilchen zu Teilchen fortgeführt gedacht wird, so ist doch trotz dieser Unterschiede immerhin der Vergleich zwischen beiden Bewegungsvorgängen sehr instruktiv.

Fig. 30.



§ 14. Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf den geschlossenen Stromkreis. Im vorigen § 13 ist das Ohmsche Gesetz nur auf den äufseren Widerstand des Schliefsungskreises oder auf Teile desselben angewandt. Im § 9 ist bereits hervorgehoben, dafs die E.M.K. den Strom im ganzen Schliefsungskreise unterhält, d. h. sie treibt den elektrischen Strom i sowohl durch den äufseren Widerstand als auch durch die in Reihe geschalteten Elemente, deren Füllung

der Hauptsache nach den inneren Widerstand des Stromkreises bildet. Der ganze Schliefsungskreis besteht aus dem äufseren Widerstande w und dem inneren Widerstande w_i. Um durch beide Widerstände nacheinander den Strom zu treiben, ist nach dem Ohmschen Gesetze die E. M. K.

$$E = i\,(w_i + w) \tag{10}$$

erforderlich [vergl. Gl. (9)], d. h. die elektromotorische Kraft eines Schliefsungskreises ist gleich dem Produkte aus der Stromstärke und dem Widerstande des ganzen Schliefsungskreises. Die E. M. K. wird ebenfalls in Volt gemessen.

Wir wollen von jetzt ab die Polklemmenspannung mit E_p bezeichnen, diese wirkt allein im äufseren Widerstande w, so dafs

$$E_p = i\,.\,w \tag{11}$$

ist.

Um ein hydraulisches Analogon zu diesem geschlossenen elektrischen Stromkreis zu haben, denken wir uns eine Centrifugalpumpe, Fig. 31, deren Aus- und Eintrittsöffnung durch ein langes Rohr miteinander verbunden sind. Das ganze Rohr und die Pumpe seien mit Wasser gefüllt und durch die motorische Kraft der Pumpe entsteht eine fortdauernde Wasserströmung, die um so intensiver ist, je gröfser die motorische Kraft der Pumpe und je kleiner der Widerstand ist, den der Strom im Rohre und in der Pumpe selbst findet. Auch hier können wir in ähnlicher Weise wie beim geschlossenen Stromkreise eines galvanischen Elementes von einem äufseren und einem inneren Widerstand sprechen. Durch die motorische Kraft der Pumpe wird zwischen der Austrittsstelle und Eintrittsstelle des Wassers eine Druckdifferenz hervorgebracht, die gebraucht wird, um den Wasserstrom durch die Rohrleitung (den äufseren Widerstand) zu treiben.

Fig. 31.

c

d

Aus den Gleichungen (10) und (11) ergibt sich, dafs

$$E = E_p + i\,w_i$$

oder

$$E_p = E - i\,w_i. \tag{12}$$

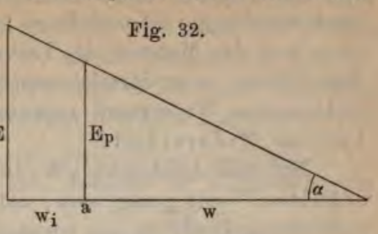
E_p ist die verfügbare Spannung zwischen den Polklemmen des Elementes; iw^i ist der Spannungsverlust im Elemente.

Zwischen der E. M. K. und der Polklemmenspannung besteht ein analoges Verhältnis wie zwischen Kessel- und Cylinderdampfspannung. Die letztere ist kleiner als die erstere um den Druckverlust in den Zuleitungsröhren vom Kessel zum Cylinder.

Die Beziehungen zwischen den im Ohmschen Gesetze auftretenden Gröfsen sind durch das Diagramm (Fig. 32) gegeben. Auf der Horizontalen sind nacheinander Strecken angetragen, welche dem inneren Widerstand w_i und dem äufseren Widerstand w des Stromkreises proportional sind. Am

Anfangspunkte der Horizontalen ist eine Vertikale konstruiert, deren Länge der E.M.K. der Stromquelle entspricht. Der Endpunkt von E ist mit dem Endpunkte von $w_i + w$ verbunden. Das in a errichtete Lot E_p stellt die Klemmenspannung dar. Ferner ist $i = tg\,\alpha$. Je gröfser w, desto kleiner wird α und damit auch i, desto mehr wird E_p gleich E. Bei sehr grofsem äufseren Widerstande ist die Polklemmenspannung praktisch gleich der E.M.K. der Stromquelle.

Fig. 32.



Beispiele: 1. Ein Kupferdraht von 240 m Länge hat den Querschnitt 10 qmm und das Leitungsvermögen 57. Wie grofs ist sein elektrischer Widerstand w?

$$w = \frac{240}{10 \,.\, 57} = 0{,}421\ \Omega.$$

2. Durch den im vorigen Beispiel genannten Kupferdraht fliefst der Strom 20 Ampère. Wie grofs ist die Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Drahtes, oder welche Spannung wird verbraucht, um den Strom 20 Amp. durch den Draht zu treiben? Nach der Gleichung (9) haben wir

$$e = i \,.\, w = 20 \,.\, 0{,}421 = 8{,}42 \text{ Volt}.$$

3. Die E.M.K. eines Akkumulators (vergl. § 81) ist 2 Volt, der innere Widerstand desselben 0,05 Ω. Man verbindet vier Akkumulatoren in Hintereinanderschaltung und legt als äufseren Widerstand zwischen die Polklemmen einen Neusilberdraht von 40 m Länge, 1,5 mm Durchmesser und 0,3 Ω spez. Widerstand. Wie grofs sind die Stromstärke und die Polklemmenspannung der Batterie?

Die E.M.K. der Batterie ist $4 \times 2 = 8$ Volt. Der innere Widerstand ist $4 \times 0{,}05 = 0{,}2\ \Omega$. Der äufsere Widerstand ist $\frac{40 \,.\, 0{,}3}{1{,}767} = 6{,}79\ \Omega$. Demnach ist die Stromstärke nach (10):

$$i = \frac{8}{0{,}2 + 6{,}79} = 1{,}144 \text{ Amp.} \quad E_p = 7{,}77 \text{ Volt}.$$

Sind n Elemente hintereinander geschaltet, von denen jedes die E.M.K. E und den inneren Widerstand w_i hat, während der äufsere Widerstand des Schliefsungskreises w ist, so beträgt die Stromstärke

$$i = \frac{nE}{nw_i + w}. \tag{13}$$

4. Eine Glühlampe ist zwischen zwei Leitungen mit der Spannungsdifferenz 110 Volt eingeschaltet. Durch den Kohlenfaden der Glühlampe fliefst der Strom 0,5 Amp. Wie grofs ist der Widerstand des glühenden Kohlenfadens? Widerstand $= \frac{110}{0{,}5} = 220\ \Omega$.

§ 15. Elektrische Widerstände. Rheostate. Nach der in § 13 gegebenen Formel (7) ist der elektrische Widerstand eines Leiters, z. B. eines Metalldrahtes, eine Gröfse, die allein durch die Dimensionen (Länge und Querschnitt) des Leiters sowie durch das Material bestimmt

ist. Der in Ohm berechnete Widerstand eines Leiters ist also eine feste und unveränderliche Gröfse, die von der Stromstärke im Leiter ganz unabhängig ist und die so lange sich nicht ändert, wie die Temperatur und das Material des Leiters dieselben bleiben. Insofern jeder Metalldraht, jeder Streifen aus Metallblech u. s. w. einen bestimmten elektrischen Widerstand repräsentiert, bezeichnen wir diese Leiter kurz als Widerstände.

Mit dem Ausdrucke „Widerstand in dem Stromkreise einschalten“ soll gesagt sein, dafs wir Leiter der bezeichneten Art im Schliefsungskreise zu den vorhandenen in Hintereinanderschaltung hinzufügen, wodurch nach dem Ohmschen Gesetze (vergl. Gleichung 10) die Stromstärke bei konstanter E. M. K. vermindert wird.

Der elektrische Widerstand eines Leiters hängt von der Temperatur ab und zwar nimmt derselbe bei den Metallen mit wachsender Temperatur zu, dagegen bei der Kohle und bei den Elektrolyten mit wachsender Temperatur ab. Ist α die Widerstandszunahme in Prozenten pro 1° C., W_T der Widerstand eines metallischen Leiters bei T° C., W_{T_1} dagegen der Widerstand bei der Temperatur T_1° C., so ist

$$W_T = W_{T_1}\left[1 + \frac{\alpha}{100}(T - T_1)\right]. \tag{14}$$

$\frac{\alpha}{100}$ ist der sogenannte Temperaturkoeffizient der Metalle.

Tabelle für α.

Kupfer	$\alpha = 0{,}38$	Neusilber	$\alpha = 0{,}036$
Eisen	$\alpha = 0{,}48$	Quecksilber	$\alpha = 0{,}0907$
Silber	$\alpha = 0{,}377$	Blei	$\alpha = 0{,}39.$

Widerstände aus Neusilberdraht ändern wegen des geringen Temperaturkoeffizienten ihren Betrag also erheblich weniger mit der Temperatur als solche aus Eisen oder Kupfer. Um von der Temperatur sehr unabhängig zu sein, verwendet man für Widerstände, welche zu elektrischen Messungen dienen, Metalllegierungen, die fast unmerklich mit der Temperatur ihren Widerstand verändern. Zu diesen gehören:

Mangankupfer (12,6 Tle. Mangan + 87,4 Tle. Kupfer); spez. Widerstand = 0,43 Ω.

Manganin (4 Tle. Nickel, 12 Tle. Mangan und 84 Tle. Kupfer); spez. Widerstand = 0,47 Ω.

Konstantan (40 Proz. Nickel und 60 Proz. Kupfer); spez. Widerstand = 0,50 Ω.

Zugleich zeichnen sich diese Legierungen durch einen hohen spez. Widerstand gegenüber den übrigen Metallen aus.

Vorrichtungen, welche dazu dienen, in einem Schliefsungskreise Widerstände von bekannter Gröfse ein- und auszuschalten, ohne den

bei zu unterbrechen, nennt man **Rheostate**. Diese dienen
zur Regulierung des Widerstandes eines Schliefsungskreises
eine bestimmte Stromstärke erreicht wird oder zur Wider-
ssung, die in der Praxis meist durch Vergleichung des un-
Widerstandes mit den im Rheostaten enthaltenen bekannten
ad nach der in § 16 beschriebenen Methode ausgeführt wird.

n es sich weniger darum handelt, dem Betrage nach genau be-
iderstände einzuschalten, sondern vielmehr zur Regulierung des

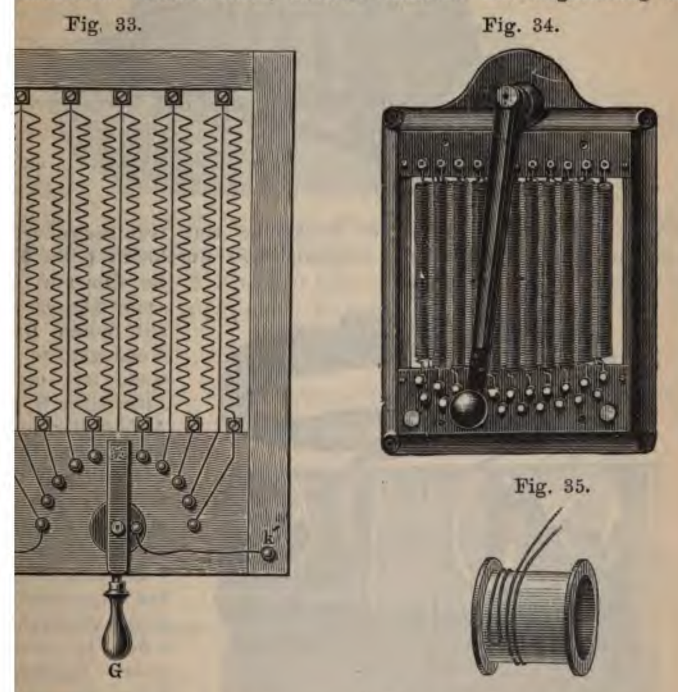


Fig. 33. Fig. 34.

Fig. 35.

inen gewissen Ballastwiderstand in die Leitung zu legen, ver-
n den in Fig. 33 dargestellten **Kurbelrheostaten**. Auf einem
n Rahmen sind frei zur besseren Abkühlung durch Luftzug zwischen
Schrauben und den Kontaktknöpfen, über welche die Kurbel be-
len kann, eine Reihe von Spiralen, meist aus Neusilber, aus-
Je nach der Stellung der Kurbel ist eine gröfsere oder kleinere
Spiralen und damit ein gröfserer oder kleinerer Widerstand ein-
Je weiter der Kurbelkontakt nach links gestellt ist, desto geringer
ngeschaltete Widerstand und desto gröfser die Stromstärke. In
hierauf werden auch meistens die Drähte der Spiralen auf der linken
Rheostaten mit gröfserem Querschnitte gewählt. Fig. 34 zeigt einen
t und **Haeffner** in Bockenheim hergestellten Kurbelrheostaten.
die Zwecke der Vergleichung und Messung elektrischer Widerstände
Stöpselrheostaten (Fig. 36 a. f. S.). Die Widerstände bestehen zur
ung der Selbstinduktion (vergl. § 30) aus bifilar gewickelten Draht-
h. der ganze aufgespulte und durch Umspinnung von Seide iso-

lierte Draht aus Neusilber oder Nickelin ist von der Mitte aus zusam gelegt, Fig. 35, und beide Hälften sind gleichzeitig aufgewickelt, so daſs

Fig. 36.



Strom in der einen Hälfte der Wickelung eine rechtsgewundene, in anderen eine linksgewundene Schraubenlinie durchläuft. Die Spulen

Fig. 37.



im Inneren des W standskastens befe auf dessen Deckel Messingklötze angebr sind, mit denen je Ende einer Spule und Anfang der nächsten bunden ist. Das End letzten Spule und de fang der ersten Spule mit zwei Klemmschra auf dem Deckel des Ka verbunden, die dazu di den Apparat im S kreise einzuschalten. schen je zwei neb ander liegende Me klötze können genau geschliffene Stöpsel Messing zur Verbin der Klötze eingesetzt werden. Sind alle Stöpsel herausgezogen, so flie Fig. 36 der Strom nacheinander durch alle Spulen, diese sind hinterein geschaltet. Bei jedem Stöpsel ist der Widerstandswert der entsprech Spule in Ohm angegeben. Wird ein Stöpsel zwischen zwei Messingkl eingesetzt, so wird damit der Widerstand der zwischen ihnen lieg Spule ausgeschaltet. Diese Stöpselrheostate können nur schwache S aufnehmen, die meistens geringer als 0,01 Amp. sein müssen, damit dauernde Änderungen der Widerstandswerte eintreten.

Zur Messung hoher Stromstärken stellt man kleine Widerstände 0,1 bis 0,001 Ω und noch weniger aus Manganingaze, Manganin- oder stantanblech her, weil diese den Drähten gegenüber eine gröſsere abküh Oberfläche haben. Fig. 37 zeigt die Konstruktion eines kleinen Widerst der als Nebenschluſs für Weston-Schalttafel-Ampèremeter Ströme bis 1000 aufnehmen kann (s. § 25).

§ 16. **Stromverzweigung.** Zwischen den Punkten a und b Fig. 38) des Schliefsungskreises eines Elementes e seien die Wider-tände w_1 und w_2 nebeneinander oder parallel geschaltet. Die ınfänge der beiden parallel geschalteten Viderstände sind mit a, ihre Enden mit b erbunden. Die Punkte, an denen mehr als wei Leiter zusammenstofsen, heifsen Ver-weigungspunkte. Sind zwischen den 'unkten a und b einer Leitung zwei oder aehrere Stromzweige vorhanden, so tritt ine Stromverzweigung ein. Haben alle arallel geschalteten Stromzweige gleichen lektrischen Widerstand, so sind auch die Zweigströme einander gleich. Sind dagegen lie Widerstände der Stromzweige w_1 und v_2 verschieden, so nimmt derjenige den Strom von gröfserer Stärke uf, der den kleineren Widerstand hat.

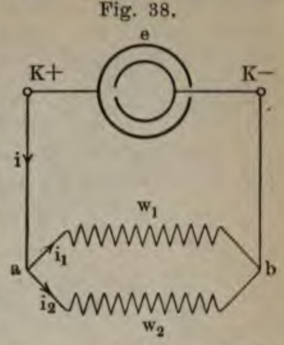


Fig. 38.

Die Stärke des von K_+ nach a (Fig. 38) fliefsenden Stromes i ist leich der Summe der abfliefsenden Ströme, also

$$i = i_1 + i_2.$$

Fliefsen nach einem Verzweigungspunkte i (Fig. 39) die Ströme und i_2, während die Ströme i_3, i_4 und i_5 von rt abfliefsen, so ist

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5.$$

Fig. 39.

Ist ferner e die Spannungsdifferenz zwischen und b (Fig. 38), so haben wir nach dem Ohm-hen Gesetze

$$e = i_1 . w_1 \text{ und } e = i_2 . w_2,$$

so auch

$$i_1 : i_2 = w_2 : w_1, \tag{5}$$

h. die Zweigströme verhalten sich umgekehrt wie die 'iderstände.

Bezeichnen wir den Widerstand, den das System der beiden par-lel geschalteten Leiter zwischen a und b darstellt, mit w, so ist auch

$$e = iw,$$

dem i die Stärke des ganzen Stromes ist, der von a nach b übergeht.

Wir haben ferner $e = (i_1 + i_2) w$ oder auch

$$e = \left(\frac{e}{w_1} + \frac{e}{w_2}\right) w, \text{ also } \frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}, \tag{6}$$

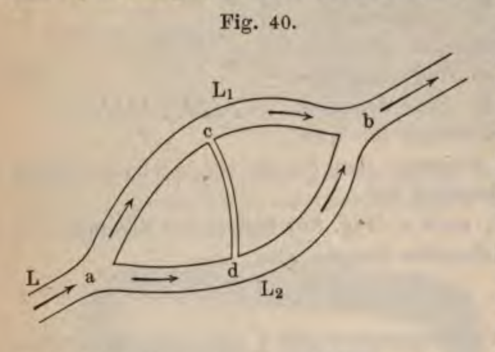
h. der reziproke Wert des Widerstandes des Systems der ırallel geschalteten Leiter ist gleich der Summe der rezi-

proken Widerstände der einzelnen parallel geschalt
Leiter. $1/w$ ist das Leitungsvermögen des Systems paralleler L
Dasselbe ist gleich der Summe der Leitungsvermögen der paralle
schalteten Leiter. Dagegen ist bei der Hintereinanderschaltung
Widerständen der gesamte Widerstand gleich der Summe aller
zelnen Widerstände. So ist nach Fig. 29 der äufsere Widerstan
Schliefsungskreises

$$w = w_1 + w_2 + w_3.$$

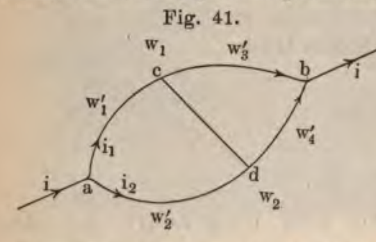
Lassen wir ein Wasserleitungsrohr (Fig. 40) sich in die Leitunge
und L_2 verzweigen, die sich nachher wieder vereinigen, so wird in b
Rohren L_1 und L_2 de
Druck verbraucht, nä
der Wasserdruck zwisc
und b. Dasjenige Rohr n
die gröfsere Wassermeng
hat also die gröfsere St
stärke, welches den klei
Widerstand bietet. W
man zwischen c und d
Verbindungsleitung herst
so würde in dieser der S
von c nach d fliefsen,
in c der Druck gröfser
als in d. In cd entsteht
Strömung, wenn der I
bei c gleich demjenigen bei d ist. Für diesen Fall ist der Druckunters
zwischen a und c gleich dem zwischen a und d.

Fig. 40.



Verbindet man einen Punkt c (Fig. 41) längs des Widerstandes w
einem Punkt d des parallel geschalteten Widerstandes w_2 durch einen Leit
draht, so fliefst im allgemeine
Strom in cd. w_1 und w_2 können i
zwei Metalldrähte sein, die gera
ausgespannt oder, wie in den St
rheostaten, zu Spiralen aufgew
sind. Ist die Spannung in c g
als in d, so fliefst der Strom v
nach d. Teilt der Punkt c den W
stand w_1 in die beiden Teile w_1' u
und d den Widerstand w_2 in die
$ad = w_2'$ und $db = w_4'$, so ist die Spannungsdifferenz zwischen c u
gleich Null, oder der Leiter cd ist stromlos, wenn

Fig. 41.



$$i_1 w_1' = i_2 w_2',$$

und wenn

$$i_1 w_3' = i_2 . w_4'.$$

Die erstere Gleichung besagt, dafs die Spannungsdifferenz zwisch
und c gleich derjenigen zwischen a und d ist, also die Spannung in c g
derjenigen in d.

Die Verbindungsleitung cd ist also stromlos, wenn

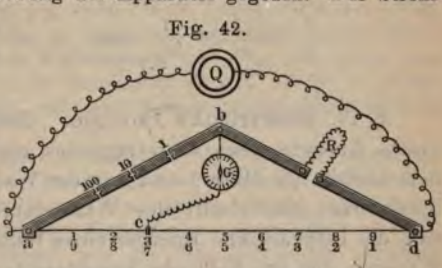
$$w_1' : w_2' = w_3' : w_4'. \tag{17}$$

Diese Verzweigung (Fig. 41) ist von Wheatstone benutzt, um W
stände miteinander zu vergleichen. Schaltet man nämlich an Stelle

$_4$ den Leiter mit unbekanntem Widerstande x und für w_3' einen Stöpsel-
ieostaten ein, dessen Widerstand so lange verändert wird, bis ein in die
Brücke" cd geschalteter Strommesser keinen Strom anzeigt, so verhält sich
er Widerstand x zu dem durch den Stöpselrheostaten eingeschalteten wie
$'_2 : w_1'$. Sind letztere beiden einander gleich, so gibt der Stöpselrheostat
irekt den gesuchten Widerstand an.

Hiervon wird bei der Kirchhoffschen Brücke Anwendung gemacht,
ei der es sich um Bestimmung des Verhältnisses des zu messenden Wider-
tandes zu einem bekannten Widerstand (Vergleichswiderstand) handelt. In
Fig. 42 ist eine schematische Anordnung des Apparates gegeben. Der Strom
des Elementes Q teilt sich in die Zweige abd und acd. Zwischen a und d ist ein feiner Draht aus Platinsilber oder Nickelin ausgespannt und neben demselben liegt ein Mafsstab mit Teilung. An dem Drahte gleitet der bewegliche Kontakt c. R ist der unbekannte Widerstand, der durch zwei kräftige Schienen aus Messing oder Kupfer mit b und d verbunden ist. Zwischen b und dem Gleitkontakt c liegt die „Brücke" mit dem Galvanoskop (siehe Fig. 49). Je nach der Gröfse von R wird 1, 10 oder 100 Ω als Vergleichswiderstand gewählt. Man bewegt den Kontakt c an die Stelle des Mefsdrahtes ad, für welche das Galvanoskop stromlos wird. Ist dieses der Fall für die Stelle 3 und haben wir als Vergleichswiderstand 10 Ω genommen, so ist

Fig. 42.



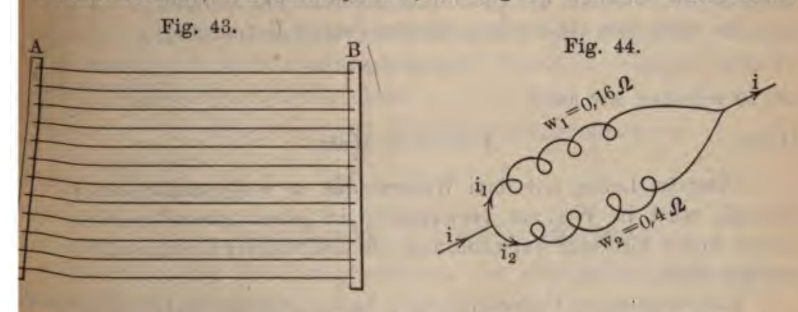
$$10 : R = 3 : 7,$$

da sich die Widerstände der Drahtstücke ac und cd direkt wie die Längen derselben verhalten.

$$R = \frac{10 \cdot 7}{3} = 23{,}33\ \Omega.$$

Beispiele: 1. Zwischen den Kupferschienen A und B (Fig. 43) sind 12 Neusilberdrähte, von denen jeder 5,1 m lang ist und den Durchmesser

Fig. 43. Fig. 44.



^{3} mm hat, parallel geschaltet. Die Neusilberdrähte sind nur an ihren Enden
t den Kupferschienen verlötet. Der spezifische Widerstand des Neusilbers
0,301 bei 15° C. Wie grofs ist der Widerstand zwischen A und B?

Der Widerstand eines Neusilberdrahtes ist 0,6032 Ω. Demnach ist nach
r Gleichung (16) der gesamte Widerstand $\frac{0{,}6032}{12} = 0{,}0503\ \Omega$. Diese in

der Aufgabe beschriebene rostartige Anordnung von Neusilberdrähten dient zur Herstellung kleiner Widerstände.

2. Der Strom $i = 32$ Ampère verzweigt sich (Fig. 44, a. v. S.) in die Widerstände $w_1 = 0{,}16\ \Omega$ und $w_2 = 0{,}4\ \Omega$. Wie grofs sind die Zweigströme i_1 und i_2, und wie grofs ist der Widerstand w des Systems der beiden parallel geschalteten Leiter? Wie grofs ist die Spannungsdifferenz e zwischen den Verzweigungspunkten?

$$i_1 = 22{,}857 \text{ Amp.}, \qquad i_2 = 9{,}143 \text{ Amp.}$$

$$e = 3{,}657 \text{ Volt.}$$

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} \quad \text{oder} \quad w = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2} = 0{,}114\ \Omega.$$

§ 17. Elektrische Energie. Gesetz von Joule. Die mechanische Energie eines Wasserstromes ergibt sich als das Produkt aus dem Gefälle (in Meter) und aus der Wassermenge, welche pro Sekunde durch den Querschnitt des Wasserlaufes hindurchströmt. So ergibt sich die mechanische Energie eines Wasserfalles aus dem Gewichte des Wassers, das pro Sekunde herunterstürzt, multipliziert mit der Höhe des Falles. Das Wassergewicht wird in Kilogramm pro Sekunde angegeben, die Fallhöhe in Meter, und demgemäfs ergibt sich die mechanische Energie in Sekunden-Meter-Kilogramm (sek-m-kg).

Wird in einem Leiter vom Widerstande $w\ \Omega$ die Spannung e Volt verbraucht, um durch den Leiter den Strom i Amp. zu treiben, so ist die im Leiter verbrauchte elektrische Energie

$$A = ei \text{ Volt-Ampère oder Watt.} \tag{18a}$$

Vergleichen wir diesen Ausdruck mit dem für die mechanische Energie, so entspricht der Stromstärke oder der Elektrizitätsmenge, welche pro Sekunde durch den Leitungsquerschnitt strömt, das Wassergewicht pro Sekunde, der Spannungsdifferenz das Gefälle.

Da nach dem Ohmschen Gesetze [vergl. Formel (9)]

$$e = iw$$

ist, so erhalten wir auch

$$A = i^2 . w \text{ Watt.} \tag{18b}$$

Diese im Leiter mit dem Widerstande w verbrauchte elektrische Energie wird in Wärme verwandelt; in jedem stromdurchflossenen Leiter findet also eine Verwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie statt.

Kalorimetrische Untersuchungen haben gezeigt, dafs bei 1 Watt Energieverbrauch im Leiter die Wärmemenge 0,24 g-cal. pro Sekunde hervorgebracht wird. Ist also zwischen den Klemmen des Widerstandes $w\ \Omega$ bei der Stromstärke i Amp. die Spannungsdifferenz e Volt vorhanden, so wird in diesem Widerstande in t Sekunden die Wärmemenge

$$Q = 0{,}24 \,.\, e \,.\, i \,.\, t = 0{,}24 \,.\, i^2 \,.\, w \,.\, t \text{ g-cal.} \qquad)$$

eugt.

Demnach ist die in einem Leiter durch den elektrischen trom entwickelte Wärme — die Stromwärme — proporonal dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande es Leiters (Joulesches Gesetz).

Schaltet man einen Leiter, z. B. einen Metalldraht, im Schliefsungskreise in, so steigt infolge der Stromwärme die Temperatur des Leiters an bis zu iner bestimmten Höhe, die erreicht ist, wenn die im Leiter durch den Strom ntwickelte Wärmemenge gleich der in derselben Zeit nach aufsen durch trahlung und Leitung abgegebenen Wärmemenge ist. Die vom Leiter ausestrahlte Wärmemenge hängt von der Beschaffenheit und Gröfse der Oberäche des Leiters ab und nimmt mit der Temperaturdifferenz zwischen eiter und Umgebung zu.

Damit ein Leitungsdraht durch den elektrischen Strom nicht übermäfsig rwärmt wird, wodurch die Isolation beschädigt werden und der Leiter ferner n der Nähe leicht brennbarer Stoffe zur Feuersgefahr Anlafs geben kann, nufs der Querschnitt des Leiters der Stromstärke entsprechend gewählt verden. Unter Stromdichte versteht man die Stromstärke pro Quadratillimeter des Querschnittes des Leitungsdrahtes. Für isolierte Leitungen us Kupfer ist bis zu 10 Amp. Stromstärke eine Stromdichte von 4 Amp. ulässig, d. h. ein Kupferdraht von 2,5 qmm Querschnitt darf nicht mehr als 0 Amp. leiten.

Bei 30 Amp. wird nur noch eine Stromdichte von 3 Amp. für zulässig rkannt, für diese Stromstärke ist also ein Querschnitt von 10 qmm mindetens erforderlich. Je höher die Stromstärke, desto geringer ist bei den olierten Drähten und Kabeln aus Leitungskupfer die Stromdichte (für 1000 Amp. t ein Leitungsquerschnitt von mindestens 1000 qmm erforderlich, also Stromichte = 1 Amp.). Diese Abnahme der Stromdichte mit wachsendem Querhnitt ist nötig, weil der Querschnitt mit dem Quadrate des Durchmessers, ie abkühlende Oberfläche aber nur im gleichen Verhältnis mit dem Durchesser wächst.

Nach dem ersten Hauptsatze der Wärmelehre ist die Arbeit 27 m-kg äquivalent der Wärmemenge 1 kg-cal. Ein Watt Energieerbrauch gibt 0,24 g-cal. = 0,000 24 kg-cal. pro Sekunde. Dieser Värmemenge entspricht aber die Arbeit 427 . 0,000 24 m-kg pro Sekunde = 0,102 Sekundenmeterkilogramm.

0)
1 Watt = 0,102 Sekundenmeterkilogramm
oder 9,81 „ = 1 „
Mithin sind
75 Sek-m-kg = 1 PS = 736 Watt.

Damit ist die Beziehung zwischen der elektrischen und mechaschen Energie gegeben.

Würde man zwei Punkte einer elektrischen Leitung, zwischen nen eine beträchtliche Spannungsdifferenz vorhanden ist, durch nen Leiter von sehr geringem Widerstande verbinden, etwa die von n Polen einer Batterie oder Dynamo ausgehenden Hauptleitungen rch einen kurzen Metalldraht, so entsteht ein sehr starker Strom

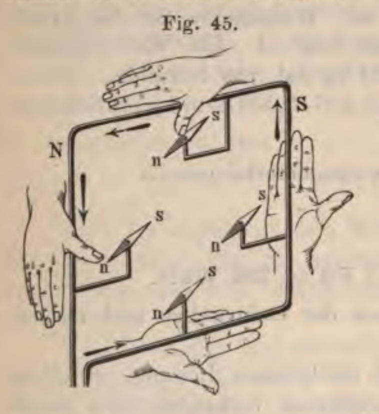
in diesem Draht, der in den meisten Fällen bei genügend hoher Spannung sogleich glühend wird. In diesem Falle würde ein „Kurzschlufs“ zwischen den Leitungen herbeigeführt. Der Kurzschlufs hat immer ein Anwachsen der Stromstärke sehr weit über den normalen und zulässigen Betrag zur Folge und durch besondere Einrichtungen (siehe Sicherungen, § 122) sind die Folgen eines unbeabsichtigten Kurzschlusses möglichst zu beseitigen. Infolge des Kurzschlusses findet ein plötzlicher und gewaltiger Ausgleich der Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten der Leitung statt, und damit wird eine grofse Menge elektrischer Energie nach der Gleichung (19) in Wärme verwandelt. Welcher Widerstand beim Einschalten zwischen zwei Punkten, zwischen denen die Spannungsdifferenz e Volt vorhanden ist, bereits eine ungewöhnliche Stromstärke ergibt, läfst sich nach dem Ohmschen Gesetze $i = e/w$ leicht beurteilen. In den meisten Fällen findet ein Kurzschlufs dadurch statt, dafs durch Unvorsichtigkeit oder infolge mangelhafter Verlegung zwischen zwei Leitungen eines Leitungsnetzes, zwischen denen die volle Betriebsspannung vorhanden ist, eine fast widerstandslose Verbindung entsteht.

Drittes Kapitel.

Elektromagnetismus.

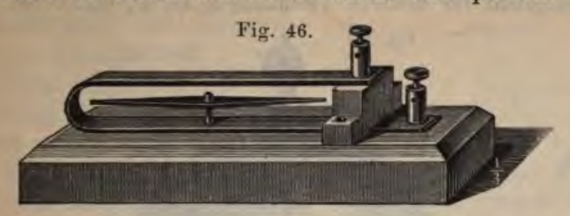
§ 18. Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom, Multiplikator. In § 12 haben wir bereits die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom behandelt. Zum bequemen Nachweis der Wirkung des Stromleiters auf die Magnetnadel dient der Apparat Fig. 45. Der zum Rechteck gebogene dicke Kupferdraht wird so gestellt, dafs die Ebene des Rechtecks vertikal und im magnetischen Meridian liegt. Solange der Draht stromlos ist, liegen die magnetischen Achsen der Nadeln in der Ebene des rechteckigen Stromleiters. Fliefst ein Strom durch den Draht, so werden die Nadeln aus dem magnetischen Meridian abgelenkt. Zur Bestimmung der Ablenkung der Magnetnadel dient die auf S. 11 gegebene Regel.

Fig. 45.



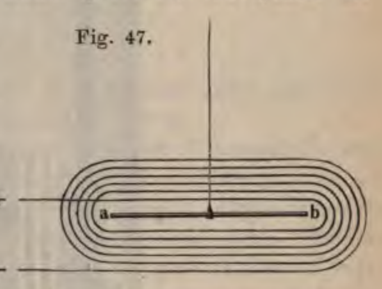
Um die Wirkung des Stromes zu vergröſsern, legen wir um ı Magneten einen Bügel aus Kupfer- oder Messingblech wie in ;. 46, oder wir lassen den Strom durch viele parallel und dicht

Fig. 46.



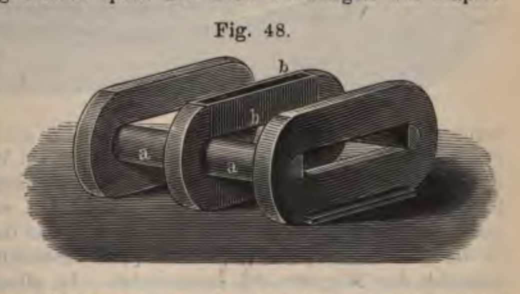
ısammenliegende Windungen aus isoliertem Kupferdraht (Fig. 47) ieſsen. Die Ebene der Windungen wird vor dem Einschalten in den tromkreis in den magnetischen Meridian gebracht. Je dichter die Vindungen die Nadel umschlieſsen nd je gröſser die Zahl derselben st, desto gröſser ist auch die vom trome ausgeübte Kraft. Der elek- rische Strom hat das Bestreben, ie magnetische Achse der Magnet- adel senkrecht zu den Windungs- benen, also in die Ost-West-Rich- ung, zu stellen; während der rdmagnetismus die Nadel in die ord-Süd-Richtung zurückzudrehen sucht. Die Magnetnadel nimmt olche Lage an, daſs das vom Strome ausgeübte Drehungsmoment leich dem vom Erdmagnetismus ausgeübten ist.

Fig. 47.



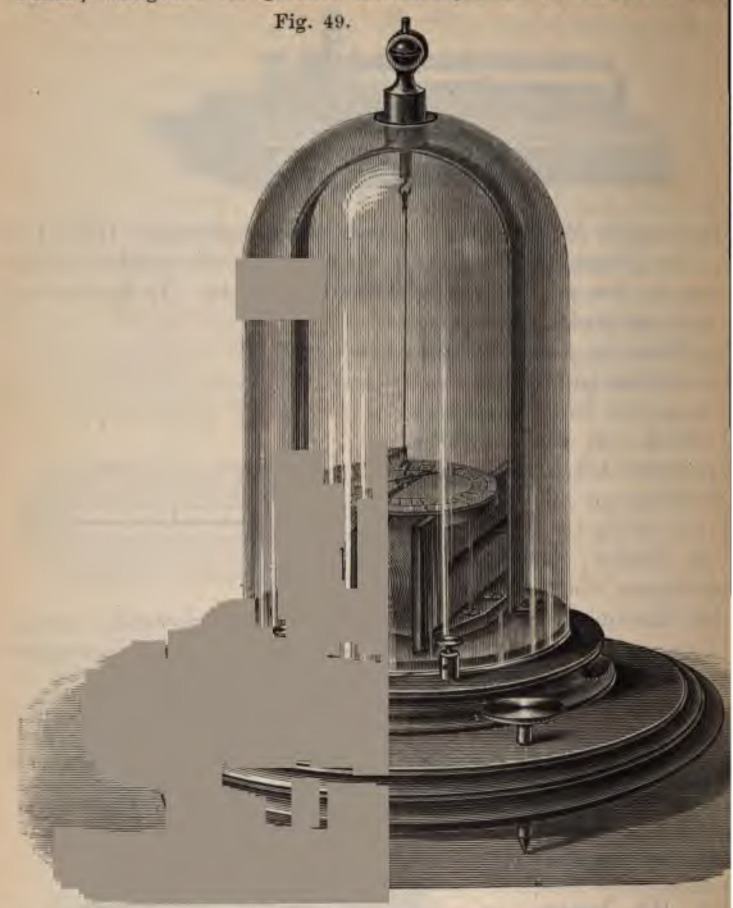
Die hier besprochenen Wirkungen des Stromes bieten ein bequemes Iittel, das Vorhandensein und die Richtung eines Stromes nachzuweisen. Iandelt es sich nur um den Nachweis eines schwachen Stromes, so bringen vir auf die in Fig. 48 abgebildete Spule aus Holz Windungen aus Kupfer- raht, der durch Um- pinnen von Seide isoliert st. Die bewickelte Spule st ein sogenannter Multi- likator. Im Inneren er Spule befindet sich die Iagnetnadel, welche ent- veder auf einer Stahl- pitze ruht oder an einem infachen Seidenfaden (Ko- onfaden) aufgehängt ist. amit erhalten wir das in ig. 49 abgebildete Instrument. Über den Spulen befindet sich eine Teilung, auf velcher ein an dem Tragstäbchen des Magneten befestigter Zeiger aus Alu- ıinium spielt. Instrumente der beschriebenen Art, welche nur dazu dienen, as Vorhandensein eines Stromes überhaupt nachzuweisen, heiſsen Galvano- kope; sind dagegen die Instrumente so eingerichtet, daſs sie zur Messung er Stromstärke dienen, so heiſsen sie Galvanometer. Alle diese Instru-

Fig. 48.



mente sind wegen der feinen Bewickelung der Spulen direkt nur zur M
sehr schwacher Ströme brauchbar. Da die Ablenkung der Magn
aus dem magnetischen Meridian durch den elektrischen Strom in
Fällen, wenigstens für gröfsere Ablenkungen als 5°, nicht der Stä

Fig. 49.

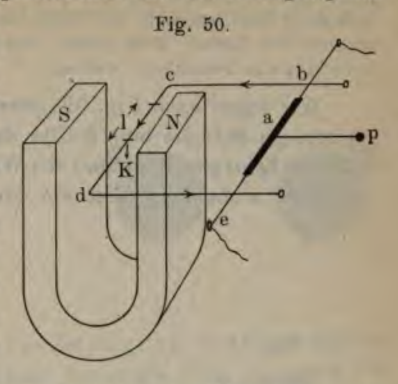


Stromes proportional ist, so mufs meistens für zahlreiche Ablenkungen
gehörige Stromstärke durch Eichung mit einem Voltameter ermittelt
Durch eine dem Instrumente beigegebene Eichungskurve kann dann
hängigkeit der Stromstärke in den Windungen von der Ablenkung de
neten dargestellt werden. Der Gebrauch dieser Galvanometer wird sch
in der Nähe elektrischer Maschinen und Stromleitungen, weil diese d
lenkung der Magnetnadel beeinflussen. In allen Fällen ist auch vo
Einschalten eine sorgfältige Einstellung erforderlich. Hiervon sind
§ 25 besprochenen Strommesser mit beweglicher Spule frei, die dah
weiteste Verbreitung in der Praxis gefunden haben.

**§ 19. Die Wirkung des magnetischen Feldes auf e
Stromleiter.** Der zweimal rechtwinklig gebogene Draht (Fig

$bcde$ ist um die Achse be drehbar. Das Mittelstück a der Achse besteht aus Isoliermaterial. Der Strom wird an den Enden b und e zu- und abgeleitet durch sehr feine Kupferdrähte, die die Bewegung des Kupferdrahtbügels nicht hemmen. Durch das Gegengewicht p wird der stromlose Draht $bcde$ in horizontaler Lage gehalten. Fliefst ein Strom von c nach d, so wird nach der Handregel (vergl. § 9) auf den Nordpol des Magneten eine nach oben gerichtete Kraft ausgeübt. Der Nordpol oder das magnetische Feld übt auf den Stromleiter in der entgegengesetzten Richtung dieselbe Kraft aus nach dem Grundgesetze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung. Auf den Stromleiter cd wird also unter den angegebenen Verhältnissen die Kraft K (Fig. 50) wirken.

Fig. 50.



Die vom magnetischen Felde ausgeübte Kraft K nimmt die entgegengesetzte Richtung an, wenn entweder die Stromrichtung in cd gewechselt wird, oder die Richtung der Kraftlinien in die entgegengesetzte übergeht. Die Kraft K ist senkrecht sowohl zum Stromleiter cd als auch senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien. Der um die Achse a drehbare Stromleiter cd wird also zunächst senkrecht zur Richtung der Kraftlinien bewegt. Die Kraft K, welche auf das Stück l des Stromleiters ausgeübt wird, ist proportional 1. der Stromstärke im Leiter cd, 2. der Feldstärke und 3. der Länge l.

Befindet sich ein Stromleiter von der Länge l cm in einem gleichförmigen magnetischen Felde, dessen Stärke H ist (H Kraftlinien pro Quadratcentimeter!), und setzen wir voraus, dafs der Stromleiter senkrecht zur Richtung der Kraftlinien liegt, so wird bei der Stromstärke i Ampère auf ihn die Kraft

$$K = \frac{H \cdot l \cdot i}{10} \text{ Dynen} = \frac{H \cdot l \cdot i}{9\,810\,000} \text{ kg} \tag{21}$$

ausgeübt.

$i/10$ ist die Stromstärke in absoluten Einheiten. Die absolute Einheit der Stromstärke hat also den zehnfachen Wert des Ampère.

§ 20. Das magnetische Feld einer Stromspule. Solenoid. Auf einem Cylindermantel sei in Schraubenlinien ein isolierter Kupferdraht in dicht nebeneinander liegenden Windungen aufgewickelt, so dafs die Windungsebenen zur Cylinderachse senkrecht sind. Der Draht kann in einer Lage oder auch in mehreren Lagen übereinander liegen. Ein solches Drahtsystem bezeichnet man, wenn es kurz und gedrungen ist, als Spule, wenn es dagegen lang und gestreckt ist, als Solenoid.

Fig. 51 stellt einen Schnitt durch die Achse dieser Spule dar. Die kleinen Kreise sind die Querschnitte des aufgespulten Kupferdrahtes. Die Punkte (Pfeilspitze) deuten an, dafs der Strom aus der Ebene der Zeichnung heraus nach dem Beschauer gerichtet ist; die Kreuze (Schaft des Pfeiles der Stromrichtung) dagegen, dafs der Strom in die Zeichenebene hinein, also vom Beschauer fort fliefst. Eine solche vom Strome durchflossene Spule soll kurz als Stromspule bezeichnet werden.

Wir legen nach Fig. 52 durch die Achse der Spule einen Papierschirm, so dafs die eine Hälfte der Spule oberhalb, die andere unterhalb des Schirmes liegt und die Windungsebenen sämtlich zum Schirme senkrecht stehen. Fliefst ein Strom durch die Spule und schütten

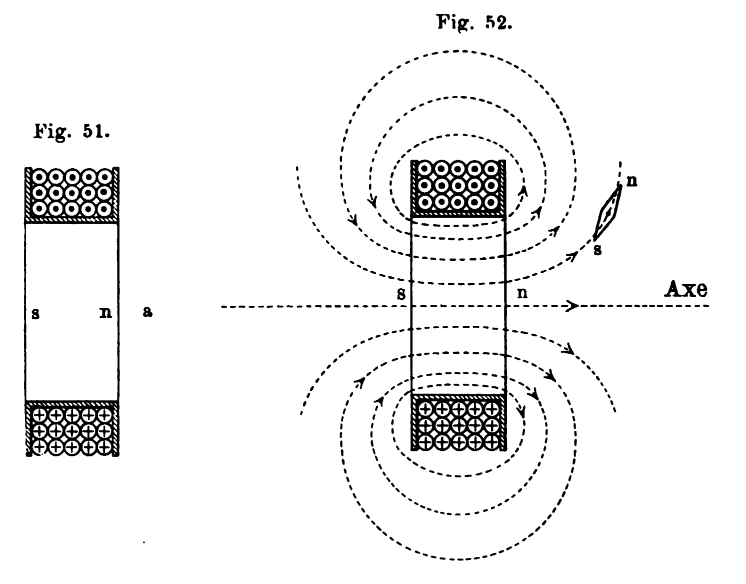


Fig. 52.

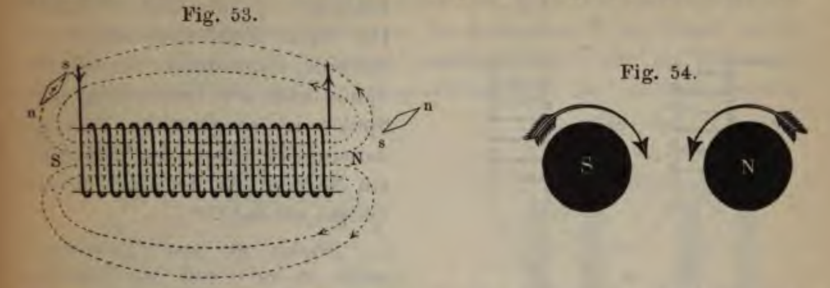
Fig. 51.

wir mit einem feinen Siebe Eisenfeilspäne auf den Schirm, so erhalten wir ein Kraftliniendiagramm, das in Fig. 52 dargestellt ist. Im Innern der Spule laufen die Kraftlinien fast einander parallel; besonders im Mittelpunkt der Spule ist das Feld fast gleichförmig. In der Nähe der Windungen liegen im Innenraum der Spule die Kraftlinien dichter als in der Achse. Die Kraftlinien sind dabei geschlossene Kurven. Die ganze Schar der Kurven zerfällt in zwei symmetrisch zur Achse liegende Gruppen. Beide Gruppen sind mit der Spule wie drei Kettenglieder miteinander verbunden.

Fig. 53 stellt eine langgestreckte Spule (Solenoid) dar. Der Verlauf der Kraftlinien ist ebenfalls angedeutet. Im Innern der Spule laufen die Kraftlinien fast parallel. Das Kraftliniendiagramm Fig. 53 hat grofse Ähnlichkeit mit dem eines Stabmagneten (vergl. Fig. 9 u. 11). Jede Spule, in welcher alle Windungen in derselben Richtung vom Strome durchflossen werden, hat an der einen Endfläche einen Nordpol,

an der anderen einen Südpol. Die Pole der Stromspule werden leicht durch eine in die Nähe gebrachte Magnetnadel ermittelt. Blickt man auf eine der Endflächen der Spulen (Fig. 53 und Fig. 52), so liegt an dieser Endfläche der Südpol der Spule, wenn für den

Fig. 53. Fig. 54.



Beschauer der Strom im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers die Endfläche umläuft. Schaut man von a aus (Fig. 51) gegen die Nordpolfläche der Spule, so fliefst für den Beschauer der Strom um die Endfläche entgegen der Richtung der Uhrzeigerbewegung (Fig. 54).

Bei Spulen, deren Länge im Vergleich zum Durchmesser der Windungen grofs ist, erhalten wir in dem von den Windungen umschlossenen Raum, abgesehen von den Teilen desselben in der Nähe der Endflächen der Spule, ein fast gleichförmiges Feld, dessen mittlere Feldstärke H proportional dem Produkte aus der Stromstärke i und der Windungszahl n der Spule, d. h. proportional den Ampèrewindungen ist. Ist L die Länge der Spule, so ist

$$H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{n\,i}{L}. \tag{22}$$

H ist die Kraft in Dynen, welche auf einen im Innern der Spule liegenden Einheitspol ausgeübt wird. Diese Kraft wird als magnetisierende Kraft bezeichnet, denn sie bildet die Ursache der Magnetisierung eines Eisenkernes, der in das Innere der Spule gebracht wird.

Nochmals sei dabei bemerkt, dafs H die Zahl der Kraftlinien ist, die durch ein Quadratcentimeter, das zur Richtung der Kraftlinien senkrecht liegt, hindurchgehen.

§ 21. Der Elektromagnet. Magnetische Induktion des Eisens. Bringen wir in das Innere der Spule (Fig. 53) einen Eisenstab, so wird derselbe magnetisiert; wir erhalten einen Elektromagneten, der um so kräftiger wird, je gröfser die magnetisierende Kraft der Spule ist. Einen Stab Rundeisen (Fig. 55, a. f. S.) biegen wir U-förmig und bewickeln jeden Schenkel mit der gleichen Zahl dicht zusammenliegender Windungen aus isoliertem Kupferdraht in einer oder mehreren Lagen. Die Kreise stellen die darunter liegenden Polflächen dar, und die Pfeile geben an, in welcher Richtung der Strom die Endflächen

umfliefst für den, der von oben gegen die Endfläche blickt. Fig. 55 stellt einen hufeisenförmigen Elektromagneten dar. Zur Erregung des

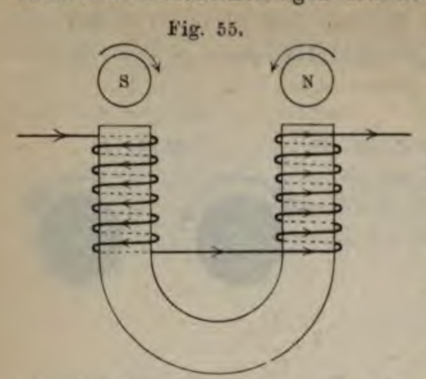


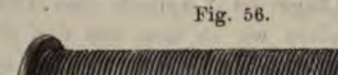
Fig. 55.

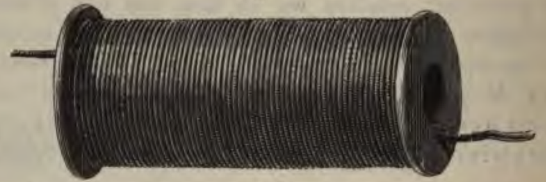
Magneten können wir auch über jeden Schenkel eine Spule (Magnetspule) (Fig. 56) schieben. Der Strom fliefst zunächst durch die eine, dann durch die andere Spule und die Verbindung der Spulen ist so gewählt, dafs an der einen Endfläche des Magneten ein Nordpol, an der anderen ein Südpol entsteht.

Stellen wir den Elektromagneten so auf, dafs die Schenkel vertikal stehen, und bedecken wir die Pole mit einem Schirm aus Pappe oder Glas, der mit Eisenfeilspänen bestreut wird, so ergibt sich das Kraftliniendiagramm Fig. 57.

In reinster Form kann man den Vorgang der Magnetisierung nur dann untersuchen, wenn die im Eisen erzeugten Kraftlinien überhaupt

Fig. 56.





nicht in die Luft austreten. In Fig. 58 ist eine ringförmige Spule dargestellt, deren n-Windungen dicht zusammen liegen sollen. Besteht

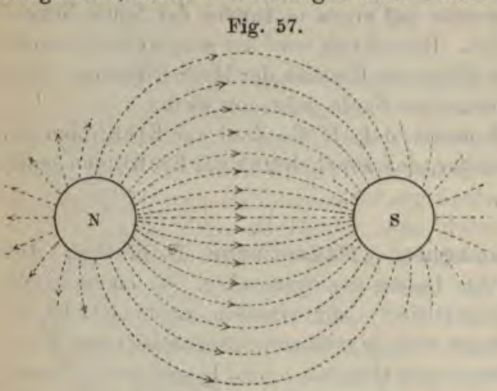
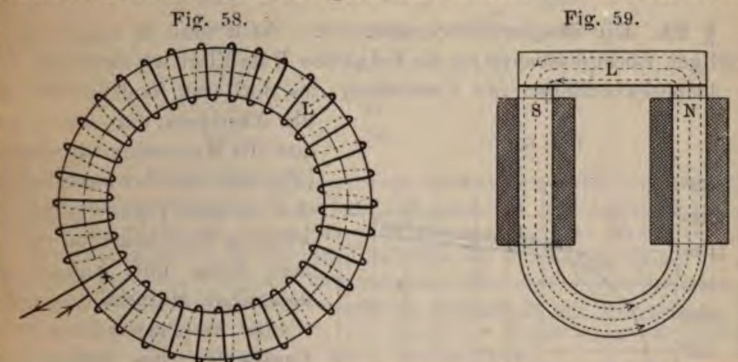


Fig. 57.

der Innenraum der Spule aus Luft, Holz oder irgend einem anderen unmagnetischen Material, so ist an jeder Stelle im Innern der Windungen die Feldstärke H nach der Gleichung (22) gegeben, wobei i die Stromstärke in den Windungen und L die mittlere Länge der Kraftlinien ist, die sämtlich konzentrische Kreise sind. Wäre das Innere der Spule ganz mit einem Eisenkern ausgefüllt, so würde dieser magnetisiert; wir erhielten einen pollosen Magneten. Im Eisen würde die Zahl der Kraftlinien dabei nach § 8

heblich gröfser sein als in der Luft. Unter der Induktion B im sen verstehen wir die Zahl der Kraftlinien, die pro Quadratcentimeter rvorgebracht werden. Läfst man den Strom i von 0 an wachsend verhiedene Werte annehmen, so ergibt sich nach der Gleichung (22) nfach die zu jeder Stromstärke gehörende magnetisierende Kraft H. ür jeden Betrag derselben kann die Induktion B im Eisen durch ıysikalische Messungen ermittelt werden, wobei die im Kapitel 4 handelten Induktionsströme gemessen werden, die in einer zweiten

Fig. 58. Fig. 59.



kundären Bewickelung des Eisenkernes auftreten, wenn der Strom der Magnetisierungsspule unterbrochen oder umgekehrt wird. Wir ollen auf diese schwierigen Messungen hier nicht eingehen, sondern en folgenden einfachen Versuch zur Ermittelung der Magnetisierung es Eisens, d. h. der Abhängigkeit der Induktion B von der magnetiierenden Kraft H anstellen.

Legen wir auf die rechteckigen Polflächen des Magneten (Fig. 59) inen Eisenstab (Anker), der mit dem Kerne gleichen Querschnitt Q haben oll, so gehen durch diesen Eisenstab sämtliche Kraftlinien vom Nordol zum Südpol des Magneten über. Wir erhalten einen geschlossenen, anz im Eisen verlaufenden magnetischen Kraftlinienflufs. Die mittlere änge der Kraftlinien ist mit L bezeichnet. Der Kraftlinienflufs im isen ist um so gröfser, je gröfser die Anzahl der Ampèrewindungen ro Längeneinheit (cm) des mittleren Kraftlinienweges L ist.

Ist für irgend eine Stromstärke i in der Magnetspule B die Inuktion im Kerne des Magneten, so dafs also $B \,.\, Q$ Kraftlinien in den nker übertreten, so wird dieser an jedem Pole mit der Kraft

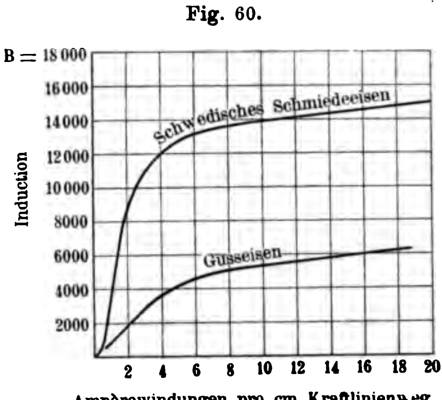
$$P = \frac{B^2 \,.\, Q}{8\,\pi} \text{ Dynen} \tag{23}$$

stgehalten. $2\,P$ ist die Kraft, welche erforderlich ist, um den Anker on den Polen abzureifsen. Ermittelt man P und daraus B für verhiedene Stromstärken in der Magnetspule, so ergibt sich der Zummenhang zwischen der magnetischen Induktion B und den Ampèreindungen pro Centimeter des mittleren Kraftlinienweges.

Diese Abreifsmethode liefert nur weniger genaue Resultate, ist jedoch für praktische Untersuchungen vielfach in Vorschlag gebracht. (Vergl. Fischer-Hinnen, Die Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion elektrischer Gleichstrommaschinen, 4. Aufl., S. 176.) Grofsen Einflufs auf die Induktion B üben die sehr schmalen Luftzwischenräume zwischen Polfläche und Anker aus, selbst wenn nach sorgfältigster Bearbeitung der Flächen eine innige Berührung zustande kommt. In Fig. 59 liegen die magnetisierenden Windungen nur auf einem Teile des Kernes, dieselben können besser über den ganzen Kern des Magneten gleichmäfsig verteilt werden.

§ 22. Die Magnetisierungskurve. Stellt man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die Induktion B im Eisen als Ordinate und die Ampèrewindungen pro Centimeter des mittleren Kraftlinienweges als Abscissen dar, so ergibt sich die Magnetisierungskurve (Fig. 60). Bei der am Schlusse des vorigen Paragraphen erwähnten Abreifsmethode wählt man Kern und Anker aus demselben Material.

Fig. 60.



Die Ampèrewindungen pro Centimeter des Kraftlinienweges mit $\frac{4\pi}{10}$ multipliziert, ergeben die magnetisierende Kraft H, wobei in der Gleichung (22) L die mittlere Länge des Kraftlinienweges ist (siehe Fig. 59).

Solange die Magnetisierungsspule stromlos ist, d. h. $H = 0$, ist auch $B = 0$. Bis zum Werte $H = 1$ Dyn steigt für Schmiedeeisen B zunächst langsam gleichmäfsig an, so dafs für $H = 1$ Dyn B etwa den Wert 500 erreicht. Wenn H von 1 bis 5 Dynen zunimmt, so steigt B sehr rasch an, etwa bis zu 12000 Kraftlinien pro Quadratcentimeter. Für dieses Intervall $H = 1$ bis 5 verläuft die Magnetisierungskurve fast geradlinig und sehr steil. Von nun an erfolgt eine starke Krümmung der Kurve, die bei etwa $H = 7$ Dynen am gröfsten ist. Von $H = 12$, wo B etwa 14000 ist, steigt die Kurve nur noch langsam an, nachdem das Eisen mit Kraftlinien fast gesättigt ist.

Für andere Eisensorten zeigen die Magnetisierungskurven einen anderen Verlauf (Fig. 60), indem chemische Zusammensetzung, mechanische Behandlung u. s. w. denselben beeinflussen. Im ganzen genommen haben alle Magnetisierungskurven ein ähnliches Aussehen. Gufseisen hat bei derselben magnetisierenden Kraft weit geringere Induktion als das schwedische Schmiedeeisen. Die Magnetisierungskurve des Flufseisens stimmt mit der des Schmiedeeisens fast überein.

In der nachfolgenden Tabelle sind die zusammengehörigen Werte von B und H für weiches Eisen angegeben, aufserdem für jede Induktion die magnetische Permeabilität $\mu = B/H$ (vergl. § 8).

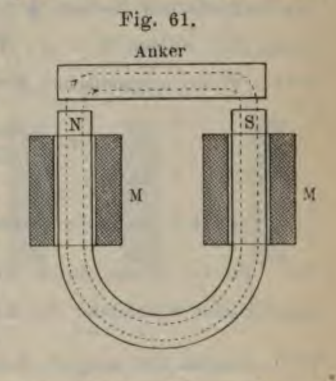
Schwedisches Schmiedeeisen.

Induktion B	A. W. pro Centimeter Kraftlinienweg	Permeabilität μ
1000	0,6	1666
2000	0,8	2500
3000	1	3000
6000	1,5	4000
10000	2,5	4000
12000	4	3000
15000	21	714
16000	48	333

Aus der Tabelle geht hervor, dafs die Permeabilität für niedrige Grade der Magnetisierung grofs ist und bis zur Induktion $B = 10000$ im Schmiedeeisen zunimmt bis zu $\mu = 4000$. Von hier ab fällt der Werth von μ mit wachsender Induktion beträchtlich, und zwar um so mehr, je weiter das Eisen dem Zustande der Sättigung entgegengeht. Für den gerade und steil ansteigenden Teil der Magnetisierungskurve genügen bereits sehr geringe Änderungen der Ampèrewindungen, um erhebliche Änderungen der Induktion bezw. des Kraftlinienflusses im Eisen hervorzurufen.

§ 23. Der magnetische Kreis. Magnetomotorische Kraft und magnetischer Widerstand. Bei dem Magneten (Fig. 59) gehen die magnetischen Kraftlinien durch den Anker vom Nordpol zum Südpol über. Die Kraftlinien bilden dabei geschlossene Kurven. Die Gesamtheit der hervorgebrachten Kraftlinien nennen wir den magnetischen Kreis oder magnetischen Kraftlinienflufs des Magneten. Unter der Stärke des magnetischen Kreises verstehen wir die gesamte Zahl der Kraftlinien oder den ganzen Kraftlinienflufs, den der Querschnitt des Magneten oder des Ankers enthält. Die Ampèrewindungen der Erregerspulen erzeugen und erhalten die magnetischen Kraftlinien und ergeben daher die magnetomotorische Kraft (M. M. K.) des magnetischen Kreises.

Fig. 61.



Legt man, wie in Fig. 61, den Anker aus weichem Eisen mit geringem Abstande vor die Pole, so entsteht auch in den schmalen mit Luft erfüllten Spalten zwischen Anker und Polen ein magnetischer Kraftlinienflufs. In diesem Falle setzt sich der ganze magnetische Kreis aus drei Teilen zusammen: Magnet, Anker und Luftzwischenräume. Stellen wir die ersteren beiden aus weichem Eisen her, so setzen sie der Erzeugung des Kraftlinienflusses einen sehr viel kleineren

Widerstand entgegen als die Luftzwischenräume, da die magnetische Permeabilität der Luft sehr viel kleiner ist als die des Eisens (vergl. Tabelle § 22). Wenngleich die Dicke der Luftschicht zwischen Anker und Pol nur wenige Millimeter beträgt, so ist doch der Luftzwischenraum von sehr wesentlichem Einfluſs auf die Stärke des magnetischen Kreises, wie bereits im § 21 hervorgehoben ist. Der gesamte Widerstand des magnetischen Kreises ergibt sich als die Summe von drei Teilen und zwar: Widerstand des Magneten, des Ankers und der Luftzwischenräume. Der magnetische Widerstand jedes dieser drei Teile ist 1. proportional der mittleren Länge L der Kraftlinien in demselben, 2. umgekehrt proportional dem Querschnitt Q, sowie der Permeabilität μ (für Luft = 1). Wir erhalten somit für den magnetischen Widerstand r eine Formel, welche der für den elektrischen Widerstand eines Leiters ähnlich ist (s. Gleichung 7)

$$(24) \qquad r = \frac{L}{Q \cdot \mu}.$$

Für die Stärke des magnetischen Kreises gilt ein dem Ohmschen Gesetze analoges.

Die Stärke des magnetischen Kreises ist um so gröſser, je gröſser die magnetomotorische Kraft oder die Ampèrewindungen der Magnetspulen sind und je kleiner der magnetische Widerstand des ganzen Kreises ist.

Ist in Fig. 58 das Innere der ringförmigen Spule mit einem Eisenkern, dessen Querschnitt Q sei, gefüllt, so ist bei der Induktion B die Stärke des magnetischen Kreises $\Phi = B \cdot Q$. Für B erhalten wir aus der Gleichung (22) einfach $B = \mu \cdot H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{n i \mu}{L}$. Demnach ergibt sich für die Stärke Φ des magnetischen Kreises

$$\Phi = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{n i \mu \cdot Q}{L} = \frac{\frac{4\pi}{10} \cdot n i}{\frac{L}{\mu Q}}.$$

$\frac{4\pi}{10} n i = 0{,}8\, n i$ stellt die magnetomotorische Kraft des magnetischen Kreises dar, sie ist direkt durch die Ampèrewindungen gegeben. $\frac{L}{\mu Q}$ ist der magnetische Widerstand des Kreises.

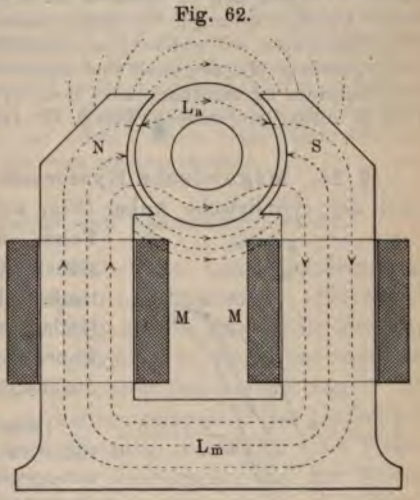
$$(25) \qquad \text{Stärke des magnet. Kreises} = \frac{\text{Magnetomotor. Kraft (M.M.K.)}}{\text{Magnet. Widerstand des Kreises}}.$$

Auch hier können wir das Gesetz, welches zunächst für den ganzen Schlieſsungskreis ausgesprochen ist, auf Teile desselben anwenden. Der Teil der magnetomotorischen Kraft der Magnetspulen MM, welcher zur Erzeugung des Kraftlinienflusses im Anker gebraucht wird, ist gleich dem Produkte aus dem magnetischen Kraftlinienfluſs Φ_a im Anker und dem magnetischen Widerstande r_a des Ankers.

Für den Anker in Fig. 61 ist demnach die magnetomotorische Kraft $r_a \cdot r_a$ erforderlich. Wird in derselben Weise für alle Teile des magnetischen Kreises die erforderliche M.M.K. für einen bestimmten Kraftlinienflufs berechnet, so ist die Summe derselben gleich der gesamten magnetomotorischen Kraft. Auf diesem Wege kann man mit einer für manche Fälle ausreichenden Genauigkeit die Amperewindungen der Magnetspulen für einen bestimmten Kraftlinienflufs ermitteln.

Beim elektrischen Strome stehen die in einem Schliefsungskreise verbrauchte E.M.K. $= E$ und die Stromstärke i in dem konstanten Verhältnis E/i, welches den Widerstand des Schliefsungskreises darstellt. Beim magnetischen Kreise ist dagegen das entsprechende Verhältnis $\frac{\text{Magnetomotorische Kraft}}{\text{Stärke des magnet. Kreises}}$ von dem Sättigungsgrade des Eisens abhängig, da mit zunehmender Sättigung die Permeabilität nach § 22 sich ändert. Beim Vergleiche zwischen dem elektrischen Stromkreise und dem magnetischen Kreise ist auch hervorzuheben, dafs die Unterhaltung des elektrischen Stromes in einem Widerstande einen Energieaufwand nach § 19 erfordert, während der einmal hergestellte magnetische Kreis weiter keinen Energieaufwand verlangt. Der magnetische Kreis ist also gewissermafsen ein statischer Zustand, während der elektrische Strom nach der uns geläufigen Vorstellung als ein dynamischer Vorgang aufzufassen ist. Die in den Erregerspulen eines Elektromagneten verbrauchte elektrische Energie wird nicht zur Magnetisierung verwendet, sondern nach Gl. (19) in Wärme verwandelt. Wir werden später sehen, dass beim Einschalten der Magnetspulen infolge der Selbstinduktion die Stromstärke scheinbar nicht sogleich ihren definitiven durch das Ohmsche Gesetz bestimmten Wert annimmt, sondern erst, nach freilich sehr kurzer Zeit, diesen Betrag erreicht. Während dieser Zeit ist die in Wärme verwandelte elektrische Energie geringer als während der Dauer der Magnetisierung, und der Fehlbetrag dient zur Herstellung des Zwangszustandes in der Lagerung der Moleküle, den wir als die Magnetisierung bezeichnen. In diesem Zustande ist demnach im Eisen eine grofse Menge Energie angehäuft, die wieder an den Stromkreis bei der Unterbrechung des Erregungsstromes zurückgegeben wird; wir erhalten beim Ausschalten der Magnetspulen einen Induktionsstrom (vergl. § 30), der den Öffnungsfunken hervorbringt, welcher um so heftiger ist, je gröfser die Zahl der Kraftlinien war, die der Elektromagnet enthielt, und je zahlreicher die Windungen der Magnetspulen sind.

Fig. 62.



Das Gesetz des magnetischen Kreises ist besonders wichtig in seiner Anwendung auf die Berechnung der Magnetgestelle (Fig. 62) der elektrischen Maschinen. Wir setzen einen Magneten von hufeisenförmiger Gestalt voraus; jeder Schenkel trägt einen Polschuh und beide Schenkel sind durch die

Grundplatte miteinander verbunden. In dem cylindrischen Raume, den die Polschuhe begrenzen, befindet sich der Anker, welcher aus Eisen besteht und meist die Gestalt eines Hohlcylinders hat. Zwischen Anker und Polschuh ist ein schmaler Luftzwischenraum vorhanden, der teilweise noch mit der Ankerwickelung ausgefüllt wird, so dafs der Anker sich eben frei drehen kann. Die Kraftlinien gehen vom Nordpol durch die obere und untere Hälfte des Ankers zum Südpol über und kehren von hier durch die Kerne und die Grundplatte zum Nordpol zurück. Wir erhalten also ein System geschlossener Kraftlinien, das als der magnetische Kreis der Maschine bezeichnet wird.

Die Zahl der magnetischen Kraftlinien im Luftzwischenraum und im Anker ist aber um so gröfser, je gröfser die M.M.K. der Magnetspulen M und je kleiner der magnetische Widerstand des ganzen Kreises ist.

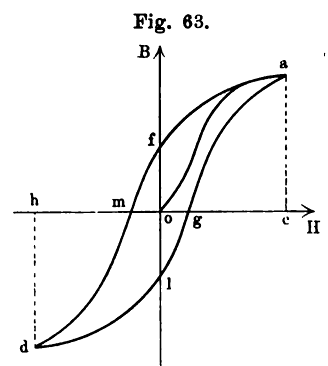
Dabei sei hier gleich darauf hingewiesen, dafs nur ein Teil der Kraftlinien vom Nordpol durch den Anker zum Südpol übergeht, während ein anderer Teil durch die Luft aufserhalb des Ankers sich schliefst. Damit entsteht zwischen den Polflächen ein magnetischer Nebenschlufs zum Anker; wir erhalten aufserhalb des Ankers ein magnetisches Streufeld. Die Stärke des Streufeldes ist von der Gestalt und den Dimensionen des Magneten abhängig und für verschiedene Magnetformen näherungsweise festzustellen.

Für jeden der drei Teile des magnetischen Kreises: Magnetgestell, Luftzwischenraum, Anker, kann man nach dem Vorhergehenden die erforderliche M.M.K. als das Produkt aus der Stärke des magnetischen Kreises in diesem Teile und dem magnetischen Widerstande desselben berechnen. Addiert man die drei für jeden Teil erforderlichen magnetomotorischen Kräfte, so ergibt sich die gesamte M.M.K., aus welcher direkt die erforderlichen Ampèrewindungen der Magnetspulen zu ermitteln sind. Damit ist der Weg angedeutet, auf welchem mit ziemlicher Annäherung die Magnetspulen bei gegebenem Magnetgestell und gegebener Zahl der Kraftlinien im Luftzwischenraum zu berechnen ist. Letzterer ist die in der Dynamo induzierte E.M.K. direkt proportional [vergl. Gl. (29)].

§ 24. Magnetische Hysteresis. Magnetisierungsarbeit.

Rotiert der cylindrische Anker (Fig. 62) im Magnetfelde zwischen den Polen, so werden die beiden Hälften desselben abwechselnd nord- und südmagnetisch. Dabei ist zur fortwährenden Umlagerung der Molekularmagnete ein Energieaufwand erforderlich, den wir als die Magnetisierungsarbeit bezeichnen.

Fig. 63.



Läfst man durch die Magnetspule (Fig. 58) einen Strom fliefsen, dessen Stärke von Null anfangend, allmählich zum Betrage i ansteigt, so dafs die magnetisierende Kraft H durch die Strecke oc (Fig. 63) dargestellt wird, so wird die Induktion im Eisenstabe nach der Magnetisierungskurve $B = ac$. Sinkt dann die Stromstärke i wieder auf Null, so nimmt der Kraftflufs im Eisenstabe nicht nach den Ordinaten der Kurve ao ab, sondern vielmehr nach der Kurve af, und wenn der magnetisierende Strom gleich Null geworden ist, enthält der Eisenstab noch die magnetische Induktion of. Fliefst dann ein von Null bis zur Stärke i allmählich anwachsender

Strom in entgegengesetzter Richtung wie vorher durch die Magnetisierungsspule, so bewegt sich die Induktion auf dem Wege fd. Hat der Strom schliefslich dieselbe Stärke erreicht wie in der entgegengesetzten Richtung, so ist auch die Induktion $hd = ac$. Sinkt jetzt wiederum der Strom auf Null und geht er in die ursprüngliche Richtung bis zur Stärke i über, so schreitet der Zustand der Magnetisierung auf dem Wege dg nach a fort. Damit ist ein cyklischer Magnetisierungsprozefs des Eisens vollendet.

Nachdem die Stromstärke und damit auch die magnetisierende Kraft auf Null gesunken ist, bleibt ein Rückstand an Induktion, der durch $of = ol$ dargestellt ist. $of = ol$ gibt ein Mafs für den remanenten Magnetismus. Erst nachdem die magnetisierende Kraft ihre Richtung gewechselt hat und den Betrag $og = om$ angenommen hat, wird die Induktion im Eisen gleich Null. Die Strecken og und om stellen die Zähigkeit oder die Koerzitivkraft dar.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dafs das Eisen der Änderung seines magnetischen Zustandes einen Widerstand entgegensetzt. Die Änderungen des Magnetismus bezw. der Induktion bleiben gegen die Änderungen der magnetisierenden Kraft zurück, es zeigt das Eisen eine Art von magnetischem Beharrungsvermögen, welches von Ewing als magnetische Hysteresis bezeichnet ist. Demnach ist die magnetische Induktion eines Eisenstabes nicht nur von der augenblicklich auf den Stab wirkenden magnetisierenden Kraft abhängig, sondern auch von den magnetischen Zuständen, in welchen der Stab sich vorher befunden hat.

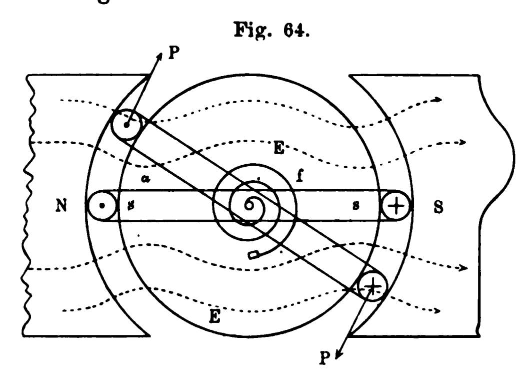
Um die cyklische Magnetisierung $afmdlga$ auszuführen, ist ein Energieaufwand erforderlich, dessen Betrag der Fläche der Kurve $afmdlga$ proportional ist. Die Fläche stellt die bei jeder cyklischen Magnetisierung verbrauchte Arbeit dar, welche in Wärme umgesetzt wird. Bei ausgeglühtem weichen Eisendraht rücken die Kurven ald und afd sehr nahe zusammen und der Energieaufwand für die cyklische Magnetisierung ist sehr gering. Bei Gufseisen und noch mehr beim Stahl liegen die genannten Kurvenstrecken weiter auseinander, und daher ist der Energieaufwand für die cyklische Magnetisierung, die z. B. während der vollen Periode eines Wechselstromes ausgeführt wird, erheblich gröfser als beim weichen Eisen.

Elektromagnetische Strom- und Spannungsmesser.

§ 25. Weston-Strommeser. Milli-Volt- und Ampèremeter von Siemens und Halske. Spannungsmessung. Bei diesen Instrumenten ist in einem starken Magnetfelde eine Spule drehbar. In Fig. 64 stellt E einen festen, cylindrischen Kern aus weichem Eisen dar, um welchen die Spule s sich eben frei drehen kann. Die Spule ist meist mit Stahlspitzen in Steinen gelagert. Der Einfachheit wegen ist die Spule s nur mit einer Windung gezeichnet. An beiden Lagern der Spule sind Spiralfedern f angebracht, die zur Stromzuführung dienen und die stromlose Spule in einer bestimmten Nulllage halten. Sobald ein Strom durch die Spule fliefst, wird auf die letztere ein Drehungsmoment ausgeübt, das die Windungsebene der Spule zur Verbindungslinie der Pole senkrecht zu stellen sucht. Im Luftzwischenraum zwischen dem Eisenkern E und den Polen verlaufen die Kraftlinien radial und gleichmäfsig verteilt, und auf die in den beiden Luftzwischenräumen liegenden Seiten der Spule wird nach

§ 19 eine Kraft P ausgeübt, welche der Stromstärke in der Spule, der Windungszahl derselben und der Feldstärke proportional ist. Die vom Strome durchflossene und aus der Nulllage abgelenkte Spule ist im Gleichgewicht, wenn das Drehungsmoment der Kraft P gleich dem von den Federn ausgeübten Gegenmoment ist, welches im gleichen Verhältnis mit der Ablenkung α der Spule aus der Nulllage wächst. Da bei konstanter Feldstärke im Luftzwischenraum P allein von der Stromstärke abhängt, so wächst die Ablenkung der Spule gleichmäfsig mit der Stromstärke[1]. Die Empfindlichkeit ist unter sonst gleichen Verhältnissen der Feldstärke proportional.

Fig. 64.



Die Spule ist auf einen Rahmen aus Metall (Aluminium) gewickelt; durch die in diesem Rahmen bei der Bewegung desselben induzierten Ströme (vergl. § 31) wird eine vorzügliche Dämpfung erreicht.

Fig. 65 stellt die Einrichtung bei den Instrumenten der European Weston Electrical Instrument Co. dar. Die Spule ist um einen festen Eisenkern in dem cylindrischen Raum zwischen den beiden Polschuhen eines kräftigen Dauermagneten drehbar. Mit der Spule ist ein Zeiger verbunden, welcher die Ablenkung der Spule aus der Nulllage angibt.

Als besondere Vorzüge der Weston-Instrumente sind hervorzuheben:

1. Man erhält direkt die Ablesung in Ampère ohne Umrechnungen oder Korrektionen.

---

[1]) Ist α die Ablenkung der Spule aus der Nulllage, so ist das von der Spiralfeder ausgeübte Gegenmoment $= k\alpha$, wo k eine Konstante bedeutet. Ist H die konstante Feldstärke im Luftzwischenraum, z die Zahl der Windungen der Spule und i die Stromstärke in derselben, so wird nach § 19 vom Magnetfelde auf die Stromspule das Drehungsmoment

$$k_1 . i . z . H$$

ausgeübt. Für den Fall des Gleichgewichtes ist

$$k_1 i . z . H = k\alpha,$$

also

$$i = \frac{k}{k_1 z . H}\alpha.$$

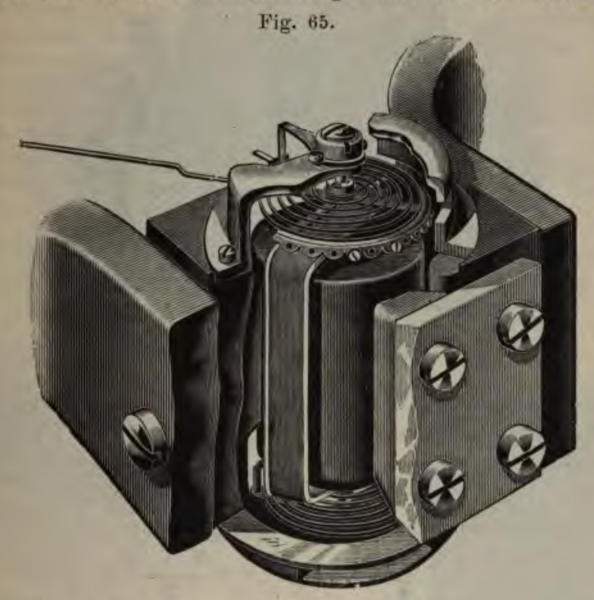
Da $\frac{k}{k_1 z . H}$ selbst konstant ist, so ist die Stromstärke der Ablenkung α proportional. Dabei ist vorausgesetzt, dafs die Kraftlinien im Luftzwischenraum in der Richtung des Radius des cylindrischen Kernes verlaufen, was bei engem und passend gewähltem Luftzwischenraum auch der Fall ist.

2. Alle Skalen beginnen bei Null und erstrecken sich in fast vollständig gleichmäfsigen Intervallen bis zum letzten Teilstrich.

3. Die Instrumente sind infolge der vorzüglichen Dämpfung aufserordentlich aperiodisch, indem der Zeiger sich fast momentan einstellt und die Ablesung ohne Zeitverlust erfolgen kann.

4. Das Instrument steht nicht unter dem Einflufs des remanenten Magnetismus, so dafs verschiedene Ablenkungen für denselben Strom bei auf-

Fig. 65.



steigender und bei abfallender Stromstärke unmöglich sind, weil die beweglichen Teile des Instrumentes kein Eisen enthalten.

5. Das bewegliche System ist genau ausbalanziert, so dafs die Instrumente in jeder Lage, sowohl vertikal als horizontal, benutzt werden können. Eine besondere Einstellung ist nicht erforderlich. Auch selbst in der Nähe der Maschinen oder kräftiger Ströme zeigen diese Instrumente noch richtig an.

Fig. 66.

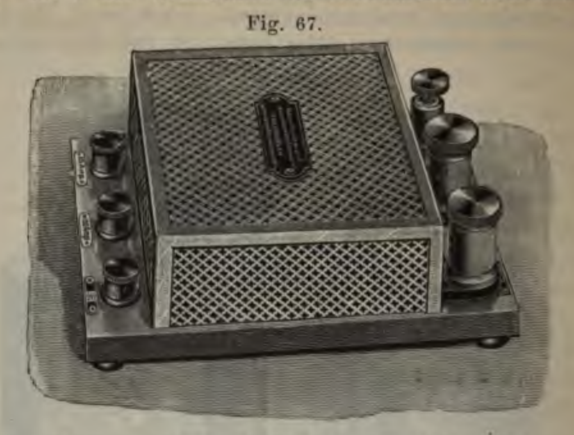


Die Weston-Instrumente (Fig. 66) sind zunächst wegen des feinen Drahtes auf der beweglichen Spule nur zum Messen schwacher Ströme geeignet. Zur Messung stärkerer Ströme erhalten die Instrumente passende Nebenschlüsse, die entweder fest im Gehäuse des Instrumentes untergebracht sind, oder für verschiedene Mefsbereiche in einem besonderen Kasten dem Instrumente beigegeben

werden. Fig. 67 zeigt einen solchen Nebenschlufskasten für die Mefsbereiche 0 — 15 und 0 — 150 Amp.

Fig. 68 zeigt die Verbindung des Instrumentes mit seinem Nebenschlufs N. Ist G der Widerstand des Instrumentes zwischen den Pol-

Fig. 67.



klemmen desselben und N der Widerstand des Nebenschlusses, so zerteilt sich der zu messende Strom J in die Zweigströme i und i_n. Wir haben nach § 16

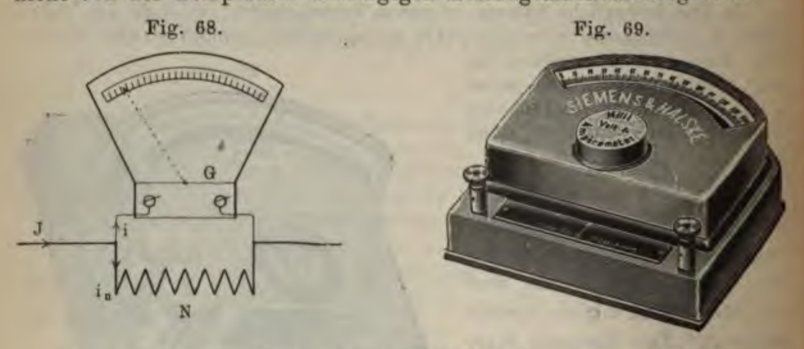
$$i : i_n = N : G, \quad J = i + i_n.$$

Der Strom i wird im Instrumente abgelesen:

$$J = i + \frac{i \cdot G}{N} = i \frac{N + G}{N}. \tag{26}$$

N und G müssen durchaus konstant sein und sind aus einem nicht von der Temperatur abhängigen Leitungsmaterial hergestellt.

Fig. 68. Fig. 69.



Ist der Nebenschlufs fest mit dem Instrumente verbunden, so kann das letztere direkt die Gesamtstromstärke J anzeigen.

Die von Siemens und Halske hergestellten Präzisions-Milli-Volt- und Ampèremeter für Gleichstrom (Fig. 69) sind im Prinzipe wie die Weston-Instrumente eingerichtet.

Der Widerstand zwischen den Polklemmen des Instrumentes (Fig. 69) trägt entweder 1 Ω oder 100 Ω. Die genaue Abgleichung geschieht meistens rch eine im Instrumente angebrachte Nebenleitung [vergl. Gleichung (16)] r Spule.

Die Instrumente mit 1 Ω Widerstand haben eine gleichmäfsige Skala it 150 Teilstrichen. Unter dem sichtbaren Teile des Aluminiumzeigers beidet sich ein Spiegelglasstreifen, so dafs man zum korrekten Ablesen den iger mit seinem Spiegelbilde zur Deckung bringt. Je ein Skalenteil Abkung der Spule entspricht der Stromstärke 0,001 Ampère. Direkt mit dem strumente kann man also nur Ströme bis 0,15 Amp. messen.

Dem Instrumente werden zur Erweiterung des Mefsbereiches (nach g. 68) die Nebenschlüsse $^1/_9$, $^1/_{49}$, $^1/_{99}$, $^1/_{499}$ und $^1/_{999}$ Ω und kleinere bis $^1/_{99\,999}$ Ω gegeben, deren Form in Fig. 70 dargestellt ist.

Stellt sich der Zeiger des Instrumentes bei einer Strommessung auf 126 und ist der Nebenschluss $^1/_{499}$ gebraucht, so ist (Fig. 68) $i = 0{,}126$ Amp. rner ist $i_n = 499 \,.\, 0{,}126$ Amp.; also $J = 500 \,.\, 0{,}126 = 83$ Amp.

Spannungsmessungen werden indirekt nach dem Ohm schen Geze ausgeführt. In Fig. 72 (a. f. S.) stellt M eine Dynamo dar, welche

Fig. 70.

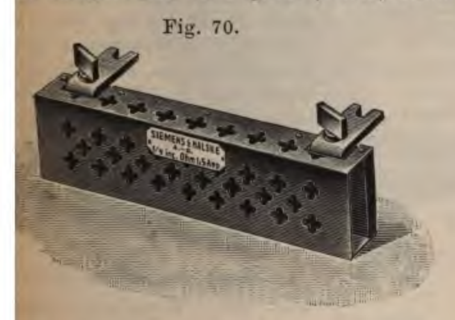
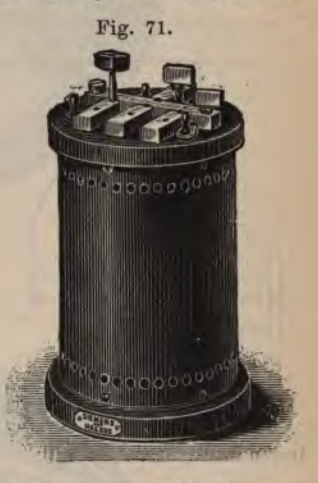


Fig. 71.



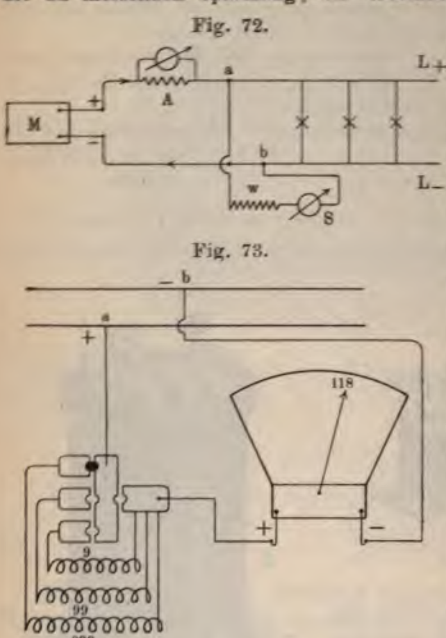
ektrischen Strom für die zwischen den eitungen L_+ und L_- eingeschalteten ampen liefert. Um die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen bezw. den eitungen L_+ und L_- zu ermitteln, legen ir in einen Nebenschlufs zu den Lampen den Strommesser (Milli-Ampèreeter) S und einen Widerstand w. Letzterer kann fortbleiben, wenn S lbst genügend hohen Widerstand hat. Die Stromstärke in S ist der annung E zwischen den Punkten a und b proportional. Ist W der iderstand von S und w zusammen, so fliefst durch S der Strom $= E/W$. Da W konstant ist, so ändert sich also i proportional t E. Die Spannung E wird gefunden, indem wir die in S abgeene Stromstärke i mit W multiplizieren. Um die Rechnung zu vereiden, zeigt der Strommesser S in vielen praktischen Fällen überupt nicht die Stromstärke i an, sondern gleich das Produkt iW, h. die Spannung E. Solche für Spannungsmessungen verwendeten rommesser heifsen Voltmeter. Um bei der Spannungsmessung glichst geringe Stromstärken und wenig Energie zu verbrauchen,

erhalten die Voltmeter einen hohen elektrischen Widerstand, oder wenn sie selbst diesen hohen Widerstand nicht haben, wird ihnen ein solcher in Form einer bifilar gewickelten Spule (vergl. Fig. 35) vorgeschaltet.

Soll das Milli-Volt- und Ampèremeter mit 1 Ω Eigenwiderstand für Spannungsmessung verwendet werden, so werden ihm, je nach der Höhe der zu messenden Spannung, die Widerstände 9, 99, 999 oder 9999 vorgeschaltet. Die Vorschaltwiderstände sind meist in einer Büchse (Fig. 71) untergebracht. Durch Einsetzen eines Stöpsels wird das Vorschalten des Widerstandes ausgeführt. Ist die zu messende Spannung der Gröſse nach nicht bekannt, so schaltet man zunächst den gröſsten Widerstand vor. Zeigt das Instrument mit 1 Ω Eigenwiderstand bei einer Spannungsmessung (Fig. 73) 118,3, während der Widerstand 999 Ω vorgeschaltet ist, so flieſst durch Instrument und Vorschaltwiderstand, deren Widerstand zusammen 1000 Ω beträgt, der Strom 118,3 . 0,001 = 0,1183 Amp. Die Spannung zwischen + und — oder a und b ist also 1000 . 0,1183 = 118,3 Volt.

Fig. 72.

Fig. 73.



Nach demselben Prinzipe wie die Weston-Instrumente sind auch die direkt anzeigenden aperiodischen Präzisions-Ampèremeter und -Voltmeter für Gleichstrom (Fig. 74a und b) in Dosenform für Schaltbretter eingerichtet.

Fig. 74a zeigt ein von der Firma Hartmann und Braun hergestelltes Voltmeter und Fig. 74b ein Ampèremeter. Bei den Ampèremetern bis 100 Amp. ist der Abzweigwiderstand im Gehäuse, für höhere Stromstärken werden die Nebenschlüsse mit Verbindungsdrähten separat geliefert. Die für Schaltbretter verwendeten Ampèremeter erhalten einen festen Nebenschluſs und das Ampèremeter zeigt direkt die Gesamtstromstärke an.

In den Spannungsmessern ist ein groſser induktionsfreier Widerstand der beweglichen Spule vorgeschaltet. Am Spannungsmesser ist nach dem Vorhergehenden nicht die Stromstärke in der beweglichen Spule abzulesen, sondern das Produkt aus der Stromstärke und dem konstanten Widerstande von Vorschaltwiderstand und Spule, d. h. die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen des Spannungsmessers bezw. zwischen den Punkten, mit denen die Klemmen des Spannungsmessers durch möglichst widerstandslose Drähte verbunden sind.

Fig. 75 (a. f. S.) zeigt die Form eines von Hartmann u. Braun neuer-
ings konstruierten Ampèremeters, das für Fahrzeuge, Schiffe u. s. w. ver-

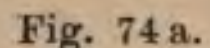


Fig. 74 a.



Fig. 74 b.



wendet wird, an Stelle der bisher üblichen mit kardanischer Aufhängun
In derselben Form werden auch die Voltmeter hergestellt. Die Instrumen



Fig. 75.

Fig. 76.

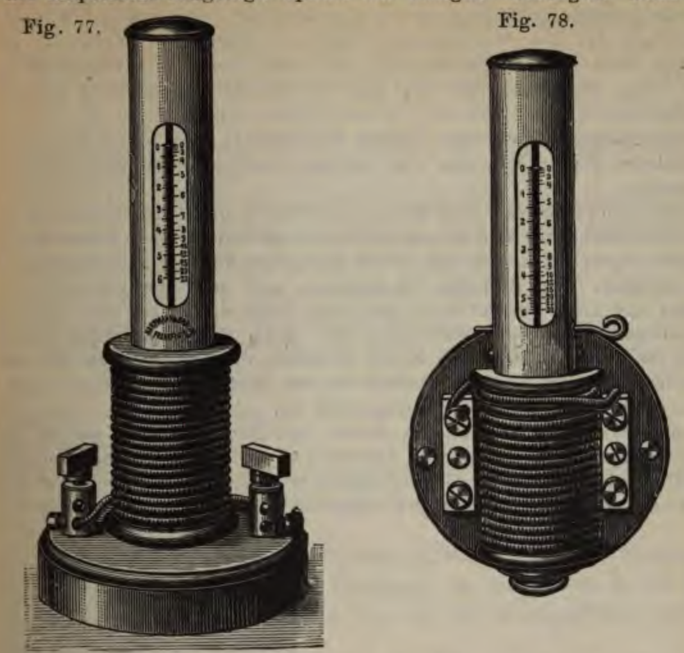
befinden sich in einer vollkommen wasserdichten Hülle. Bei dem in Fig. 75 dargestellten Ampèremeter ist der Nebenschlufs sichtbar.

§ 26. Strom- und Spannungsmesser mit weichem Eisen (Weicheiseninstrumente). Bei diesen Instrumenten fliefst der Strom durch eine Drahtspule, welche ein weiches Eisenstück zunächst magnetisiert und dann drehend oder ziehend auf dasselbe wirkt. Von diesen Instrumenten ist bereits auf S. 17 die Rede gewesen. Fig. 76 stellt eine Anordnung dieser Instrumente dar, bei welchen die vertikale Spule W den an der torsionsfreien Spiralfeder S aufgehängte Hohlcylinder r aus Eisenblech je nach der Stromstärke mehr od weniger tief in sich hineinzieht. Der Stab t dient zur Führung des ei gezogenen Eisenrohres.

Dieses Prinzip kommt zur Anwendung bei dem Federampèremet von Kohlrausch, das in den in Fig. 77 und 78 dargestellten Formen v Hartmann und Braun geliefert wird. Je nach dem Messungsbereich b steht die Spule aus mehr oder weniger Windungen, da die Zugkraft mit d

ndungszahl wächst. Für sehr starke Ströme erhält das Ampèremeter nur e aus Kupferrohr ausgesägte Spirale mit wenigen Windungen. Nach dem-

Fig. 77. Fig. 78.



ten Prinzipe werden auch Voltmeter gebaut, bei welchen die Spulen § 25) aus vielen Windungen feinen Neusilber- oder Nickelindrahtes hergestellt werden, so dafs der Widerstand des Instrumentes grofs ist. Voltmeter für Spannungen bis 110 Volt haben meist einen Widerstand von 1000 bis 2000 Ω.

Fig. 79.



Das Ampèremeter (Fig. 79) von Hartmann und Braun beruht auch auf der Einziehung eines Eisen-

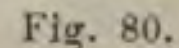


Fig. 80.



kerns in ein Solenoid, jedoch mit einer auf Torsion beanspruchten Feder als Gegenkraft. Vermittels eines Hebels und einer in Steinen gelagerten Achse wird die geradlinige Bewegung in eine drehende verwandelt. Während im allgemeinen bei den Weicheiseninstrumenten nicht eine Skala mit gleichmäfsigen Intervallen vorhanden ist, ist dieses durch eine besondere patentierte Form des Eisenkernes bei dem in Fig. 79 dargestellten Instrumente erreicht.

Die Ampèremeter haben kleinen Widerstand, und somit wird auch bei der höchsten Stromstärke nur eine geringe Spannung und Energie in ihnen verbraucht.

Bei anderen Strom- und Spannungsmessern, die hauptsächlich in Dosenform für Schaltbretter Anwendung finden, ist um ein der Spulenachse paralleles Stäbchen *a* (Fig. 80, a. v. S.) ein leicht gebogenes Stück *e* aus weichem Eisenblech drehbar. Das Stäbchen ist sorgfältig und mit sehr geringer Reibung gelagert und trägt am vorderen Ende den Zeiger *z*, der auf der Skala spielt. Das gebogene Eisenblech wird durch den in der Spule fliefsenden Strom zunächst magnetisiert und dann in der Richtung der Pfeile gegen den inneren Rand der Spule, wo die Kraftliniendichte am gröfsten ist, gezogen, und zwar um so stärker, je gröfser die Stromstärke ist.

Alle Weicheiseninstrumente haben den Nachteil, dafs wegen der geringen Dämpfung die Ablesungen zeitraubend sind. Nur bei sehr sorgfältiger Auswahl und Konstruktion des beweglichen Eisenkörpers kann der Einflufs des remanenten Magnetismus in genügender Weise beseitigt werden.

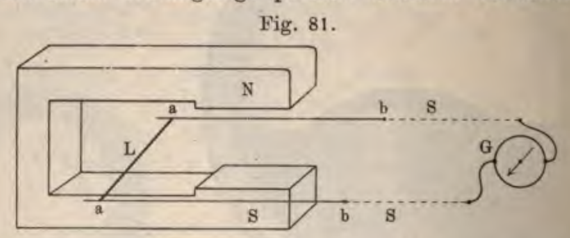
Viertes Kapitel.

Induktion.

§ 27. Grundgesetze. Richtung der induzierten E.M.K.

M (Fig. 81) sei ein Hufeisenmagnet mit den Polen *N* und *S*. Der Leiter *L*, ein gerader Kupferstab, ist auf zwei Schienen *S S* aus Kupferstäben stets seiner Anfangslage parallel bleibend verschiebbar. Die

Fig. 81.



Schienen sind mit einem Galvanoskop *G* verbunden. Bewegt man den Leiter *L* schnell von *a* nach *b* senkrecht zur Richtung der Kraftlinien zwischen den Polen durch, so schlägt die Nadel des Galvanoskops aus. Wir schliefsen daraus, dafs durch die Bewegung des Leiters in dem

Schliefsungskreise $LSGS$ ein elektrischer Strom hervorgebracht wird. Der elektrische Strom ist aber die Folge einer im Stromkreise auftretenden E.M.K. Ruht der Leiter L in bb, so verschwindet der Strom im Schliefsungskreise. Überhaupt tritt nur so lange ein Strom auf, wie der Leiter L die magnetischen Kraftlinien schneidet. Wird der Leiter L von bb nach aa zurückbewegt, so zeigt die Ablenkung der Nadel des Galvanoskops, dafs ein Strom von entgegengesetzter Richtung wie vorher entsteht.

Die bei diesen Versuchen im Schliefsungskreise auftretenden Ströme bezeichnen wir als Induktionsströme. Schneidet der Leiter L magnetische Kraftlinien oder wird durch die Bewegung des Leiters die Zahl der magnetischen Kraftlinien, welche den Schliefsungskreis $LSGS$ durchsetzen, verändert, so wird im Schliefsungskreise eine E.M.K. induziert. Ist das Gleitstück L in $a—a$, so umfafst der Schliefsungskreis die gröfste Zahl von Kraftlinien; liegt er aber in bb, so umschliefst er eine sehr viel geringere Zahl.

Bei der Bewegung des Gleitstückes L wird der Widerstand des Schliefsungskreises nicht geändert, da das Leitungsvermögen der Kupferschienen SS sehr grofs ist.

Für die Richtung der induzierten E.M.K. oder des Stromes ist nur von Bedeutung, in welcher Richtung das Gleitstück L die Kraftlinien schneidet, oder ob die Zahl der vom Schliefsungskreis umfafsten Kraftlinien zu- oder abnimmt.

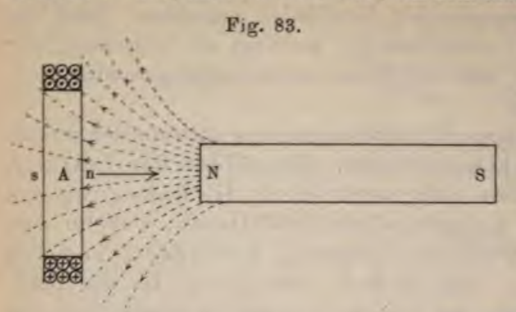
Zur Bestimmung der Richtung der induzierten E.M.K. beziehen wir uns zunächst nur auf das Gleitstück L und geben folgende Regel I: Denken wir uns an der Stelle, wo sich L gerade befindet, in der Richtung der Kraftlinien schwimmend, so dafs die Kraftlinien bei den Füfsen ein- und beim Kopfe austreten, und wenden wir das Gesicht nach der Richtung, in welcher das Gleitstück L sich bewegt, so ist die induzierte E.M.K. nach rechts gerichtet.

Fig. 82.

In Fig. 82 stellt $ABCD$ einen Schliefsungskreis dar. Wird der ganze Schliefsungskreis in der angegebenen Richtung bewegt, so schneidet AB magnetische Kraftlinien, und in AB wird eine E.M.K. induziert, die in der Richtung von A nach B wirkt. In Fig. 81 wird durch die Bewegung des Gleitstückes von aa nach bb erreicht, dafs

die Zahl der Kraftlinien, welche den Schliefsungskreis durchsetzen, geringer wird; in Fig. 82 erreichen wir dasselbe durch Bewegung des ganzen Schliefsungskreises. Von Bedeutung für die Entstehung der E. M. K. ist nur, dafs die Zahl der vom Schliefsungskreise umschlossenen Kraftlinien geändert wird. Eine E. M. K. würde auch induziert, wenn der Schliefsungskreis fest läge, bezw. seinen Umfang behielte, und der Magnet mit seinen Kraftlinien bewegt würde.

Fig. 83.



Zur Bestimmung der Richtung der E. M. K. dient auch folgende Regel II: Blickt man vom Nordpol aus durch den Schliefsungskreis in der Richtung der Kraftlinien und wird bei der Bewegung des Schliefsungskreises bezw. des Magneten die Zahl der Kraftlinien, die der Schliefsungskreis umfafst, kleiner, so fliefst für den Beschauer der Strom im Sinne der Uhrzeigerbewegung durch den geschlossenen Kreis; nimmt dagegen die Zahl der Kraftlinien zu, so fliefst der Strom gegen die Uhrzeigerbewegung.

Wird die Spule A, welche einem geschlossenen Stromkreise als Teil angehört, also in der Richtung des Pfeiles gegen den Nordpol bewegt (Fig. 83), so nimmt die Zahl der Kraftlinien, welche die Windungen umfassen, zu; ein vom Nordpol aus gegen die Spule Blickender sieht also bei der betrachteten Bewegung den induzierten Strom entgegen der Richtung des Uhrzeigers fliefsen.

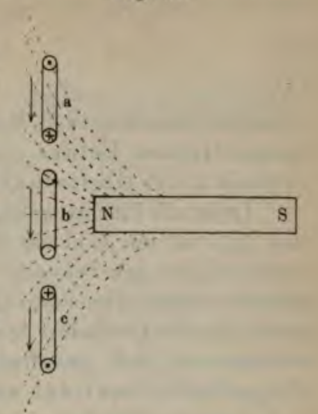
Der in der Spule (Fig. 83) induzierte Strom hat solche Richtung, dafs er die Bewegung, durch welche er zustande gekommen ist, zu hindern sucht (Gesetz von Lenz).

In Fig. 83 fliefst der induzierte Strom in der Spule so, dafs die Spule an der dem N-Pol zugekehrten Endfläche ihren Nordpol (vergl. § 20) hat. Gleichnamige Pole stofsen sich aber ab. Wird in Fig. 83 die Spule A in einer dem Pfeile entgegengesetzten Richtung bewegt, so hat der Strom in ihr auch die entgegengesetzte Richtung wie vorher.

Wir betrachten in Fig. 84 eine Spule, die der Einfachheit wegen nur mit einer Windung dargestellt ist und aus der Lage a über b nach c am Nordpol eines Magneten vorübergeführt wird. In der Stellung b ist die Zahl der Kraftlinien, welche die Windungsfläche der Spule durchsetzen, am gröfsten. Bewegt sich die Spule von a nach b, so nimmt die Zahl der von der Windung umschlossenen Kraftlinien zu, dagegen bei der Bewegung von b nach c ab. Während der Bewegung von a nach b fliefst der induzierte Strom entgegengesetzt wie während der Bewegung von b nach c; in b selbst kehrt die induzierte E. M. K. ihre Richtung um und ist für einen Augenblick $= 0$.

In den durch die Fig. 83 und 84 dargestellten Fällen ist die induzierte E.M.K. und damit der Induktionsstrom (Stromstofs) um so stärker, 1. je stärker das Feld des Magneten ist, 2. je schneller die Spule bewegt wird, 3. je gröfser die Windungszahl der Spule ist.

Fig. 84.



Noch sei hervorgehoben, dafs die induzierte E. M.K. gleich Null ist, wenn in Fig. 83 und 84 Spule und Magnetpol ihre relative Lage zu einander nicht ändern.

§ 28. Gesetz von Faraday. Absolute Einheit der E. M. K. Auf den parallelen Schienen s_1 und s_2 (Fig. 85) sei das Gleitstück AB verschiebbar. Die Kraftlinien seien senkrecht zu der durch s_1 und s_2 gelegten Ebene und pro Quadratcentimeter der Fläche $ABCD$ seien H Kraftlinien vorhanden, d. h. die Feldstärke zwischen den Schienen ist H. Der Nordpol liege vor der Ebene des Blattes, der Südpol hinter derselben, so dafs die Kraftlinien vom Leser aus senkrecht gegen die Ebene des Blattes gerichtet sind. Wird das Gleitstück AB, seiner Anfangslage parallel bleibend, mit der konstanten Geschwindigkeit v bewegt, so wird im Gleitstück eine konstante E. M. K. während der Bewegung induziert, und damit entsteht im Schliefsungskreis ein konstanter Induktionsstrom. Wird AB nach rechts in der Richtung des Pfeiles bewegt, so fliefst der Induktionsstrom nach der Regel I, § 27 in der Richtung $ABCGDA$. Das magnetische Feld übt auf den vom Induktionsstrom durchflossenen Leiter AB eine Kraft P aus, die die Bewegung aufzuhalten sucht (Gesetz von Lenz). Nach § 19 haben wir

Fig. 85.

$$P = H . J . l \text{ Dyn.}$$

wo l = Länge des Gleitstückes AB in Centimeter, J die Stromstärke in absoluten Einheiten (vergl. § 19) und P der Widerstand ist, welcher der Bewegung des Gleitstückes von AB nach CD entgegengesetzt wird.

Zur Bewegung des Gleitstückes ist also die mechanische Energie

$$P . v = H . J . l . v$$

erforderlich. Diese mechanische Energie wird infolge der Bewegung

des Leiters l in dem magnetischen Felde in elektrische Energie verwandelt. Ist e die im Gleitstück induzierte E.M.K., so erhalten wir nach dem Prinzipe der Erhaltung der Energie

$$e \, . \, J = H \, . \, J \, . \, l \, . \, v,$$

also

$$e = H \, . \, l \, . \, v, \tag{27}$$

d. h. die induzierte E.M.K. ist proportional der Stärke H des magnetischen Feldes, ferner der Länge l und der Geschwindigkeit v des Gleitstückes.

$l v$ ist die Fläche, welche das Gleitstück pro Sekunde durchstreicht, und $H l v$ ist die Zahl der Kraftlinien, welche unter den betrachteten Verhältnissen pro Sekunde vom Gleitstück geschnitten werden. Wir erhalten daher den Satz: Die induzierte E.M.K. ist durch die Zahl der Kraftlinien gegeben, welche pro Sekunde von dem Gleitstück AB geschnitten werden, bezw. um welche pro Sekunde die Zahl der vom Schliefsungskreis $ABCGDA$ umschlossenen Kraftlinien vermehrt oder vermindert wird.

Wir erhalten e in absoluten Einheiten der E.M.K., wenn l in cm und die Geschwindigkeit in $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ eingesetzt wird. Die absolute Einheit der Geschwindigkeit hat derjenige Körper, welcher in der Sekunde den Weg 1 cm zurücklegt. Ist in der Gleichung (27) $l = 1$, $H = 1$ und $v = 1$, so wird auch $e =$ der Einheit der elektromotorischen Kraft, d. h. der E.M.K., welche in einem Leiter von 1 cm Länge induziert wird, der senkrecht zur Feldrichtung liegt und mit der Geschwindigkeit $1 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ senkrecht zur Richtung des magnetischen Feldes bewegt wird, in welchem die Feldstärke $= 1$ Dyn ist, in welchem also pro Quadratcentimeter eine Kraftlinie vorhanden ist.

Als praktische Einheit der E.M.K. benutzen wir das Volt, welches das 10^8fache der absoluten Einheit der E.M.K. ist. Wir erhalten also für die Gleichung (27)

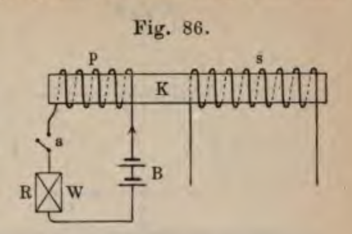
$$e = H \, . \, l \, . \, v \, . \, 10^{-8} \text{ Volt}, \tag{28}$$

dabei ist l in cm und v in $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ einzusetzen.

§ 29. **Fortsetzung der Induktionsversuche.** Über einen Eisenkern K (Fig. 86) — am besten ein Bündel weicher Eisendrähte — ist eine Spule p aus isoliertem Kupferdraht geschoben, die mit dem Ausschalter a und dem regulierbaren Widerstand RW im Schliefsungskreis der Stromquelle B liegt. Auf das andere Ende des Eisenkernes ist eine Spule s gebracht, deren Enden zum Nachweis der Induktionsströme mit den Klemmen eines in der Entfernung von einigen Metern aufgestellten Galvanoskops verbunden sind. p ist die primäre oder induzierende Spule, s ist die sekundäre Spule, in welcher die Induktionsströme auftreten.

Wird durch a der Strom im primären Kreise geschlossen, so ent-
ht im Eisenkern und damit auch im Inneren der Spule s ein Kraft-
ienfluſs und in den Windungen von s wird ein Strom (Stromstoſs)
uziert, der den Eisenkern in entgegengesetzter Richtung umflieſst
der Strom in p, also den magne-
chen Kraftfluſs in K abzuschwächen
cht. Der in diesem Falle in s indu-
rte Strom ist ein kurzer Stromstoſs
d dauert nur so lange an, als die
derung des magnetischen Kraft-
sses anhält. Vergröſsert man die
omstärke in p, so entsteht auch ein
luktionsstrom derselben Richtung
vorher, der um so stärker ist, je schneller und je mehr die Zahl
Kraftlinien sich im Eisenkern verändert. Wenn die Stromstärke
p und damit die magnetische Induktion B im Eisenkern konstant
ibt, entsteht in s kein Induktionsstrom, nur eine Änderung des
mären Stromes hat die Entstehung eines Induktionsstromes in s
Folge.

Fig. 86.



Wird der primäre Strom durch Einschalten von Widerstand chwächt, so entsteht in s ein Stromstoſs, der den Eisenkern der gleichen Richtung umflieſst wie der Strom in p. Immer also der induzierte Stromstoſs das Bestreben, den magnetischen Kraftfluſs dem Betrage zu erhalten, der vor der Änderung des primären Stromes handen war. Die Unterbrechung des primären Stromes wirkt bezüglich Richtung des induzierten Stromes wie die Schwächung des primären omes. In allen Fällen ergibt sich die Richtung des induzierten Stromes ht nach der Regel II des § 27.

Die in der Spule s induzierte E.M.K. und damit auch die Stärke Stromstoſses ist um so gröſser:

1. je gröſser der Betrag der Änderung des Kraftlinienflusses ist und je schneller sich diese Änderung vollzieht,
2. je gröſser die Windungszahl der Spule s ist.

§ 30. Selbstinduktion. Bei dem in Fig. 87 dargestellten Ver-
he bringen die Änderungen des Stromes in einer Spule Induktions-
me in einer benachbarten hervor. Wir werden jetzt sehen, daſs
derungen eines Stromes in einem Leiter, besonders wenn derselbe
einer Spule aufgewickelt ist, in diesem selbst eine elektromotorische
ft induzieren. Diese im Leiter selbst induzierte E.M.K. — E.M.K.
Selbstinduktion — ist um so höher, je gröſser die Windungszahl
Spule und je gröſsere magnetische Permeabilität der die Win-
gen umgebende Raum hat. Im Schlieſsungskreise einer Batterie
eine Drahtspule S eingeschaltet. Schlieſsen wir den Stromkreis,
n wird nach § 20 ein magnetisches Feld in der Spule hervor-
racht, dessen Stärke den Ampèrewindungen der Spule proportional

ist. Je gröfser ferner die Permeabilität des Innenraumes und der Umgebung der Spule ist, desto zahlreicher sind die Kraftlinien. Wir bringen daher zur Verstärkung des Feldes in das Innere der Spule S

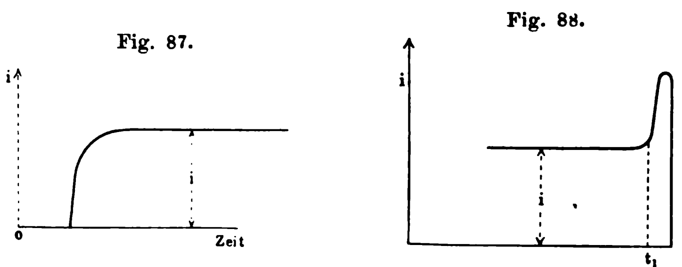


Fig. 87. Fig. 88.

einen Eisenkern. Sobald durch das Schliefsen des Stromkreises Kraftlinien in der Spule S entstehen, wird in ihr selbst nach § 27 eine E.M.K. induziert. Die induzierte E.M.K. wirkt der E.M.K. der Batterie entgegen, dauert nur sehr kurze Zeit an und verhindert, dafs die Stromstärke sogleich ihren durch den Widerstand der Spule nach dem Ohm'schen Gesetze bestimmten Betrag i annimmt. Erfolgt also zur Zeit t (Fig. 87) der Stromschlufs, so erreicht der Strom nicht sogleich seinen schliefslichen Wert i, sondern steigt, freilich in sehr kurzer Zeit, zu diesem Werte an.

Öffnen wir dagegen den Schliefsungskreis, so verschwinden in S die Kraftlinien. Wir erhalten also nach § 29 eine E.M.K., die mit der E.M.K. der Batterie in gleicher Richtung wirkt und zu dem Öffnungsfunken Anlafs gibt, der um so kräftiger sich zeigt, je gröfser die Zahl der Kraftlinien war, welche der Strom i in der Spule S erzeugte. Erfolgt also zur Zeit t (Fig. 88) das Öffnen des Stromkreises, so tritt für einen kurzen Augenblick eine merkliche Steigerung der E.M.K. auf, die aber gleich darauf auf den Wert 0 heruntersinkt.

Diese in der Spule selbst induzierte E.M.K. — ihre Selbstinduktion — tritt bei jeder Änderung der Stromstärke auf. Wird die Stromstärke durch plötzliches Einschalten eines Widerstandes oder aus einem anderen Grunde vermindert, so tritt eine E.M.K. der Selbstinduktion auf, die mit dem Strome in gleicher Richtung wirkt und zur Folge hat, dafs die Änderung des Stromes nicht plötzlich vor sich geht, sondern allmählich, freilich in kurzer Zeit. Die Selbstinduktion wirkt auch ausgleichend auf die plötzlichen Änderungen des Stromes in einer Spule in ähnlicher Weise, wie ein Schwungrad die Schwankungen der Umdrehungszahl abschwächt. Der im Schwungrade aufgespeicherten mechanischen Energie entspricht dabei die im Magnetfelde der Spule angehäufte Energie.

§ 31. Induktionsströme in körperlichen Leitern (Metallmassen). (Foucaultsche Ströme, Wirbelströme.) Bislang ist nur die Induktion in Metalldrähten (linearen Leitern) betrachtet. Elektrische Ströme werden aber in jedem Leiter induziert, der magnetische Kraftlinien durchschneidet. Nach dem in § 27 erwähnten Ge-

tze von Lenz haben die induzierten Ströme solche Richtung in dem eiter, dafs sie die Bewegung desselben zu hemmen suchen.

Wenn ein an Seidenfäden aufgehängter Magnetstab einmal ganz frei ad dann im Innern eines kupfernen Bügels schwingt (Fig. 89), so kommt ei ursprünglich gleichem Ausshlagswinkel der Magnet im letzeren Falle viel schneller zur Ruhe. Kupferner 'Dämpfer im Nadelalvanometer.)

Fig. 89.



Die Induktionsströme und amit auch die die Bewegung emmende Kraft treten in ganz erselben Weise auf, wenn Metallassen in einem magnetischen 'elde bewegt werden. So zeigt ich sehr auffallend die dämpfende Virkung der Induktionsströme n dem Waltenhofenschen Pendel (Fig. 90), bei welchem die Kupfercheibe K, die am Ende einer um aa schwingenden Pendelstange befestigt ist, zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten hindurch sich bewegen kann. Solange der Magnet nicht erregt ist, zeigt sich nur eine langsame Abnahme der Schwin-

Fig. 90.

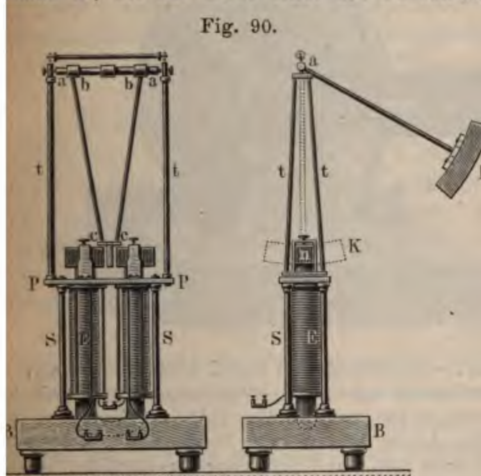


Fig. 91.

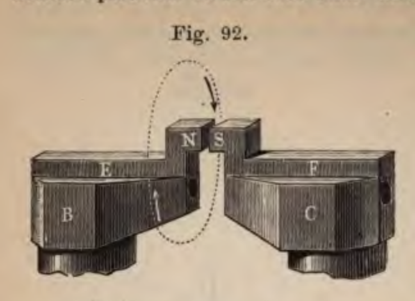


ungsweite; bei erregtem Magneten bleibt die schwingende Scheibe K lötzlich im Felde zwischen den Polen stehen. Liegt vor der schwingenen Scheibe (Fig. 91) der Nordpol, so ist die Richtung der in der cheibe induzierten E.M.K. durch die vier kleinen Pfeile gegeben. Iach § 19 haben die Induktionsströme, welche wegen des geringen Viderstandes der Kupferscheibe beträchtliche Stärke haben, solche ichtung, dafs sie die Bewegung der Scheibe hemmen.

Versetzt man (Fig. 92) eine kupferne Scheibe (Foucaults Versuch) in sche Rotation zwischen den Polen eines Magneten, so erfordert die Drehung ır geringen Aufwand von Kraft, solange der Magnet nicht erregt ist.

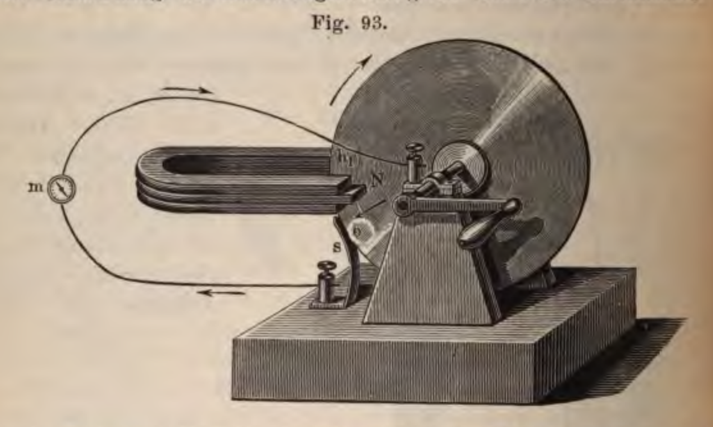
Sobald aber durch die Magnetspulen ein Strom fliefst, bleibt die rotierende Scheibe plötzlich stehen oder kann doch nur mit ziemlicher Kraftanstrengung in rascher Rotation erhalten bleiben. Wird die Scheibe eine Zeitlang gedreht, so erwärmt sie sich langsam (vergl. § 17). Bleibt die Drehungsrichtung unverändert, so behalten auch die Ströme, welche im allgemeinen von der Achse nach der Peripherie der Scheibe oder umgekehrt fliefsen, dieselbe Richtung.

Fig. 92.



Mittels des in Fig. 93 dargestellten Versuches kann man die in der rotierenden Scheibe erzeugten Induktionsströme nachweisen. Zwischen den Magnetpolen drückt eine Metallfeder *s* gegen den amalgamierten Rand der Scheibe. Zwischen *s* und der Achse der Scheibe wird ein Galvanoskop eingeschaltet, welches einen elektrischen Strom anzeigt, sobald die Scheibe rotiert. Dabei hängt die Ablenkungsrichtung der Nadel des Galvanoskops *m*

Fig. 93.



von der Drehungsrichtung ab, einmal zeigt die Nadel einen Strom an, der vom Rande der Scheibe zur Achse geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom von der Achse der Scheibe nach *s*. Verbindet man dagegen die Feder *s* und die Achse der Scheibe bezw. eine an derselben schleifende Bürste mit den Polen einer Stromquelle, so wird die Scheibe in Drehung versetzt; das magnetische Feld wirkt nach den in § 19 behandelten Gesetzen auf den zwischen den Polen liegenden und stromleitenden Teil der Scheibe (Barlowsches Rad).

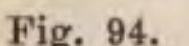


Fig. 94.



Auch wenn die leitende Verbindung zwischen der Achse und der Metallfeder *s* (Fig. 93) durch das Galvanoskop fehlt, hören die Induktionsströme nicht auf in der rotierenden Scheibe zu fliefsen; sobald diese Verbindung fehlt, müssen die induzierten Ströme in der Scheibe selbst ihre Kreise schliefsen; in der Scheibe entstehen Ströme, die etwa den in Fig. 94 dargestellten Verlauf haben (Wirbelströme

Zweiter Abschnitt.

Die Gleichstrommaschinen.

Fünftes Kapitel.

Wirkungsweise der Gleichstromdynamo.

§ 32. Die elektrischen Maschinen im allgemeinen. Die ynamo (Generator) ist eine rotierende Maschine, welche die auf ie von der Betriebsmaschine (Dampfmaschine, Turbine, Gasıotor u. s. w.) durch Riemen oder direkt übertragene mechanische nergie in elektrische Energie verwandelt. Die beiden Klemmen an er Maschine, an welche die äufsere Leitung angeschlossen ist, in die on der Maschine der Nutzstrom i geliefert wird, bezeichnen wir als olklemmen, und die Spannungsdifferenz zwischen den letzteren als ie Polklemmenspannung. Die Nutzleistung der Dynamo ist das rodukt aus der Polklemmenspannung und der Nutzstromstärke, ausedrückt in Watt oder in Kilowatt (1 Kilowatt = 1000 Watt).

Eine Dynamo, welche bei 110 Volt Klemmenspannung den Strom 0 Ampère liefert, hat die Nutzleistung 8800 Watt = 8,8 Kilowatt.

Bei der Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische nergie entstehen in der Dynamo gewisse Verluste (siehe § 41), so afs nur ein Teil der aufgewendeten Energie in der Nutzleistung der ynamo zurückerhalten wird.

Bezüglich der Stromart unterscheiden wir Gleichstromdynamos und Wechselstromdynamos. Die ersteren liefern Ströme, welche in der ufseren Leitung und allen daselbst eingeschalteten Apparaten (Mefsinstrumenten, Lampen, Motoren) stets in derselben Richtung fliefsen. Bei den m häufigsten für die elektrische Beleuchtung verwendeten Gleichstromynamos behält bei konstanter Umdrehungszahl des Ankers die Polklemmenpannung einen fast unveränderlichen Wert, und der Strom schwankt in iesem Falle nur (vergl. § 14) bei Änderung des Widerstandes der äufseren eitung. Bleibt der letztere konstant, so behält auch die Stromstärke inen unveränderlichen Wert. Während bei den Gleichstromdynamos stets on derselben (positiven) Polklemme aus der Strom in die äufsere Leitung ufserer Widerstand des Maschinenstromkreises) fliefst, und zur anderen

(negativen) Polklemme zurückfliefst, können wir bei der Wechselstromdynamo nicht zwischen negativer und positiver Polklemme unterscheiden, weil der Strom fortwährend in der äufseren Leitung wie auch in der Maschine selbst seine Richtung wechselt und zwar in den meisten Fällen bei den bei uns eingeführten Wechselstromdynamos 100 mal in der Sekunde. Durch die äufsere Leitung fliefst von der einen Polklemme ein von Null bis zu einem Höchstwerte ansteigender Strom, dessen Stärke sogleich in derselben Weise wieder auf Null herabsinkt, um dann in entgegengesetzter Richtung, also von der anderen Polklemme aus, wieder bis zum Höchstbetrage anzuschwellen und nachher bis zu Null abzunehmen u. s. f. Die Wechselstromdynamo liefert also Ströme, welche sowohl ihre Richtung als auch ihre Stärke periodisch ändern.

Als Hauptteile der Dynamo unterscheiden wir: 1. Den Anker mit seiner Bewickelung aus isolierten Drähten oder Stäben aus Kupfer. Der Anker ist bei den elektrischen Maschinen derjenige Teil, in dessen Bewickelung bezw. Spulen bei der Rotation im magnetischen Felde elektromotorische Kräfte hervorgebracht werden.

Bei den Gleichstromdynamos rotiert der Anker in einem zwei- oder mehrpoligen Felde. Bei allen Wechselstromdynamos rotiert der Anker in einem mehrpoligen Felde, ebenso oft haben wir einen feststehenden Anker, in dessen Innerem der mehrpolige Feldmagnet rotiert.

2. Den Feldmagneten, welcher zur Erzeugung des magnetischen Feldes dient.

Wir werden später sehen, dafs in den einzelnen Spulen, aus denen die Ankerwickelung der Gleichstromdynamos besteht, Wechselströme hervorgebracht werden. Durch den neben dem Anker der Gleichstromdynamo auf der Welle befestigten Kommutator oder Kollektor und durch die auf dem rotierenden Kollektor schleifenden und feststehenden Bürsten werden die einzelnen, in wechselnder Richtung im Anker erzeugten Stromimpulse immer in der gleichen Richtung oder von derselben Bürste aus in die äufsere Leitung gesandt.

Motor ist jede rotierende Maschine, die elektrische Leistung in mechanische verwandelt. Unter der Leistung des Motors verstehen wir dabei die an seiner Welle bezw. Riemenscheibe hervorgebrachte mechanische Leistung. Letztere wird in Pferdestärken angegeben. Wie in den Dynamos, so entstehen auch im Motor bestimmte Verluste, so dafs nicht alle vom Motor verbrauchte elektrische Energie in der Leistung wiedererhalten wird. Der Motor ist die Umkehrung der Dynamo. Jede Dynamo läfst sich im allgemeinen auch als Motor verwenden (vergl. § 46).

Wir wenden uns zunächst zur Wirkungsweise der Dynamos für Gleichstrom.

§ 33. Der Ringanker. Der Kern des Ringankers hat die Gestalt eines Hohlcylinders, der mittels des Ankersternes *ss* (Fig. 95) auf der Welle befestigt ist. Fig. 95 zeigt einen zur Welle senkrechten Schnitt durch den Ringanker. Der Kern ist aus kreisrunden Blechen von

0,7 mm Dicke aus weichem Eisen aufgebaut; die einzelnen Bleche sind durch dünne Papierscheiben voneinander isoliert. Die Konstruktion des Ringankers ist in § 37 beschrieben.

Der Ringanker liegt zwischen zwei cylindrisch ausgebohrten Polschuhen (Fig. 96), so daſs der Abstand zwischen Polfläche und Ankeroberfläche nur wenige Millimeter beträgt. Die Pole liegen am Umfange

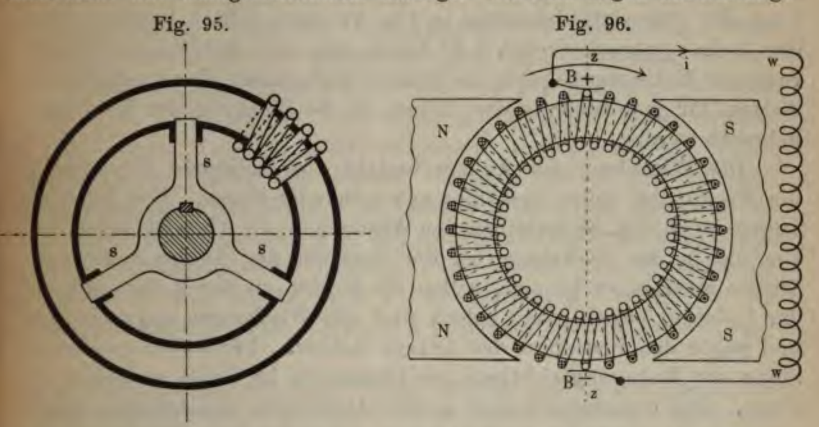


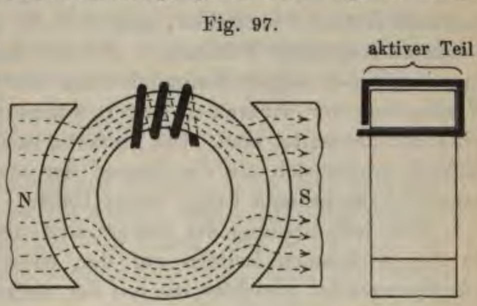
Fig. 95. Fig. 96.

des Ankers einander gegenüber, und jeder umgibt den Anker in einem Winkel von etwa 120°.

Durch die Papierschichten, welche senkrecht zur Welle liegen, wird der Übergang der Kraftlinien von Pol zu Pol nicht beeinfluſst, weil jede der Kraftlinien am Nordpol in eine der Eisenscheiben eintritt und aus derselben auf der entgegengesetzten Seite zum Südpol übergeht. Im Luftzwischenraum verlaufen die Kraftlinien in den Richtungen der verlängerten Cylinderradien. Das Kraftliniendiagramm ist bereits in Fig. 19 besprochen.

Auf den Ringanker wird eine in sich geschlossene Spiralwickelung (geschlossene Ankerwickelung) gebracht. Fig. 96 stellt einen zur Achse senkrechten Schnitt durch die Wickelung dar. Der Teil der Windungen auf der vorderen Stirnfläche des Ankers ist ausgezogen, dagegen auf der hinteren Stirnfläche punktiert. Die auf den Stirnflächen und an der Innenseite des Ankers liegenden Teile der Windungen (Fig. 97) schneiden bei der Rotation des Ankers keine Kraftlinien. Dagegen schneidet jeder Leiter an der Auſsenseite des Ankers bei einer vollen Umdrehung zweimal die sämtlichen Kraftlinien, welche vom Nordpol durch den Anker zum Südpol übergehen. Nur die Teile

Fig. 97.



der Wickelung an der Aufsenseite des Ankers, die kurzweg als **wirksame Leiter** bezeichnet werden sollen, sind elektromotorisch aktiv, und jede Windung hat **eine** wirksame Seite.

Jeder wirksame Leiter verhält sich wie das in § 27 besprochene Gleitstück L (vergl. Fig. 81).

Dreht sich der Anker, so zeigen die Kraftlinien bei der festen Lage der Pole stets denselben in Fig. 97 dargestellten Verlauf. Nach der Drehungstheorie (vergl. § 5) findet also eine fortgesetzte Umlagerung der Molekularmagnete des Ankers statt, indem ihre magnetischen Achsen für jede Stellung des Ankers in die Richtung der Kraftlinien gebracht werden.

Die Wickelung des Ankers besteht aus isoliertem Kupferdraht, die Windungen sollen lückenlos nebeneinander liegen. Der Übersicht wegen ist in Fig. 96 zwischen den Windungen ein Abstand gezeichnet. Um die in der Wickelung bei der Rotation des Ankers induzierten Ströme ableiten zu können, sollen die Drähte an der Aufsenseite von der Isolation befreit sein, jedoch sind alle Windungen gegeneinander und gegen den Eisenkern des Ankers isoliert. Der Anker rotiere im Sinne der Bewegungsrichtung des Uhrzeigers im Felde zwischen den Polen. Die wirksamen Leiter an der Aufsenseite des Ankers, welche gerade in der neutralen Zone zz liegen, schneiden keine Kraftlinien, die in ihnen induzierte E.M.K. ist also gleich Null. Bestimmen wir nach der Regel I, § 27 die Richtung der induzierten E.M.K. in den Drähten an der Aufsenseite des Ankers, welche aufserhalb der neutralen Zone liegen, so ergibt sich bei der in Fig. 96 gegebenen Richtung der Kraftlinien und bei der angenommenen Drehungsrichtung, dafs in den rechts von der neutralen Zone liegenden Drähten die elektromotorischen Kräfte nach dem Beschauer hin gerichtet, dagegen in den vor dem Nordpole liegenden Drähten von ihm fortgerichtet sind[1]). Demnach wirkt in beiden Ringankerhälften, die durch die neutrale Zone zz entstehen, eine E.M.K. nach der in der Figur am höchsten liegenden Windung. Die an den Stirnflächen und an der Innenseite des Ankers liegenden Teile der Windungen dienen nur zur Verbindung der wirksamen Leiter, welche in jeder Ankerhälfte hintereinander geschaltet sind. Die gesamte, in jeder Ankerhälfte induzierte E.M.K. ergibt sich als die Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen wirksamen Leiter dieser Hälfte.

Für jede Stellung des Ankers sind die elektromotorischen Kräfte in den wirksamen Leitern auf der einen Seite der neutralen Zone entgegengesetzt gerichtet wie auf der anderen Seite; sobald ein wirksamer Leiter die neutrale Zone passiert, nimmt die induzierte E.M.K. die entgegengesetzte Richtung an wie vorher. Demnach stellt Fig. 9[illegible]

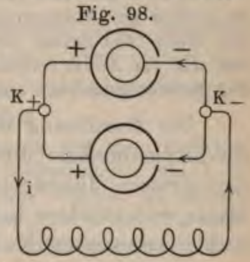
[1]) Bezüglich der Bezeichnung der Stromrichtung durch Punkte und Kreuze in den die Drahtquerschnitte darstellenden Kreisen vergl. § 20.

[...]h zugleich die Richtungen der elektromotorischen Kräfte für alle [...]kerstellungen dar.

In der neutralen Zone stellen die Bürsten die Verbindung des [...]kers mit dem äußeren Stromkreise her. In Fig. 96 liegt die posi[...]e Bürste B_+ oben, die negative B_- unten. Infolge der in den [...]ngankerhälften induzierten E.M.K. ist zwischen den Bürsten eine [...]annungsdifferenz — die **Bürstenspannung** — vorhanden. Wird [...]e positive Bürste mit der negativen durch den Widerstand w ver[...]nden, so fließt ein Strom i durch ihn von B_+ nach B_-, wo sich [...]r Strom in zwei gleiche Teile teilt; durch jede Ringankerhälfte [...]ird der Strom $\frac{1}{2}\,i$ zur positiven Bürste zurückgetrieben. Hier [...]reinigen sich wieder die beiden Hälften, um in der äußeren [...]eitung zusammen den Strom i zu liefern. Wir haben demnach bei [...]m zweipoligen Ringanker (Fig. 96) zwei **Ankerstromzweige** mit [...]eichen elektromotorischen Kräften. Die beiden Ankerstromzweige [...]nd zwischen den Bürsten **parallel** geschaltet. Somit ist die [...] M. K. des Ankers gleich derjenigen jedes der beiden Ankerstrom[...]weige.

Die beiden Ringankerhälften verhalten sich wie zwei parallel geschaltete [...]d gleich beschaffene Elemente (Fig. 98). Hier ist die E.M.K. des Schließungs[...]eises auch gleich der E.M.K. jedes der beiden [...]emente; ist ferner i der Strom im äußeren Wider[...]nde, so fließt in Fig. 98 durch jedes Element [...]r Strom $i/2$.

Fig. 98.



Kehrt man in Fig. 96 die Drehungsrichtung [...]s Ankers um, während die Pole ihre Lage be[...]lten, so nehmen die induzierten elektromotori[...]hen Kräfte in den wirksamen Leitern die entgegen[...]setzte Richtung an, wie in Fig. 96 angegeben; [...]nn fließt auch im äußeren Widerstand der Strom [...] der entgegengesetzten Richtung. Dasselbe tritt [...], wenn wir die Drehungsrichtung des Ankers beibehalten, aber die Lage [...]r Pole vertauschen und damit die Richtung der Kraftlinien umkehren.

Die in dem zweipoligen Ringanker (Fig. 96) induzierte E.M.K. [...]zw. die in jedem Ankerstromzweige induzierte E. M. K. ist gleich

$$E = \frac{n \cdot z \cdot \Phi}{60}\, 10^{-8} \text{ Volt,} \tag{9}$$

[...]bei n die Tourenzahl des Ankers pro Minute, z die Zahl der wirk[...]men Leiter an der Außenseite des Ankers oder beim Ringanker zu[...]eich die Zahl der Windungen auf dem Anker, und Φ die Zahl der [...]aftlinien bedeutet, welche vom Nordpol durch den Anker zum Südpol [...]ergehen.

Die induzierte E.M.K. ist proportional der Tourenzahl [...]s Ankers und dem magnetischen Kraftlinienflusse im [...]nker bezw. Luftzwischenraum.

Der in Fig. 96 dargestellte Apparat bildet einen geschlossenen Strom[...]eis. Der innere Widerstand des Stromkreises ist der Widerstand der beiden

parallel geschalteten Ringankerhälften. Ist W der Widerstand des ganzen zur Bewickelung des Ankers benutzten Drahtes, so hat jeder Ankerstromzweig den Widerstand $\frac{W}{2}$. Der Widerstand w_a des Ankers zwischen den Bürsten ist also $w_a = \frac{W}{4}$ (vergl. § 16 und Gleichung 16). w sei der Widerstand des äufseren Stromkreises, der an die Bürsten (Fig. 96) angeschlossen ist, so ist die Stromstärke $i = \frac{e_b}{w}$, wenn mit e_b die Bürstenspannung bezeichnet wird. Wir haben ferner für die E.M.K.

$$E = i\,(w_a + w) \quad \text{oder} \quad i = \frac{E}{w_a + w}.$$

Die Beziehungen zwischen den hier auftretenden Gröfsen lassen sich ebenso graphisch darstellen wie in Fig. 32.

Auf die vom Strome durchflossenen Ankerleiter wird nach § 19 vom magnetischen Felde eine Zugkraft ausgeübt, welche der Drehung des Ankers entgegen wirkt. Diese Zugkraft wirkt tangential am Umfange des Ankers und ist zu den Ankerleitern und zur Richtung der Kraftlinien senkrecht. Soll also der Anker in Drehung erhalten bleiben, so mufs die Betriebsmaschine an der Welle bezw. Riemenscheibe der Dynamo mit einem Drehungsmoment wirken, welches der Summe aller Drehungsmomente gleich ist, die von den auf die Ankerleiter ausgeübten Zugkräfte herrühren. Letztere wachsen in gleichem Verhältnis mit der Stromstärke in den Ankerleitern. Je gröfser der Ankerstrom ist, ein um so gröfseres Drehungsmoment mufs an der Welle von Seiten der Betriebsmaschine hervorgebracht werden. Somit hat die im Anker erzeugte elektrische Energie ihr Äquivalent in der von der Betriebsmaschine aufgewendeten mechanischen Energie.

Die Anordnung der Bürsten an der Aufsenseite des Ankers sowie die Stromabnahme direkt aus den wirksamen Leitern kommt nur bei den grofsen Innenpolmaschinen vor (vergl. § 43). Ringanker für kleine und mittlere Leistungen haben einen auf der Welle neben dem Anker befestigten **Kollektor**, der cylindrische Gestalt hat und aus einer Reihe von Segmenten besteht, die gewöhnlich aus stark kupferhaltiger Phosphorbronze hergestellt und voneinander und von der Welle durch Einlagen von Glimmer isoliert sind. Über die Konstruktion des Kollektors vergl. § 39.

Am leichtesten ist die Wirkungsweise des Kollektors zu übersehen, wenn wir jeden Draht an der Innenseite des Ankers mit einer der Lamellen verbinden, die Lamellenzahl also gleich der Windungszahl des Ankers wählen und zwischen je zwei Lamellen eine Windung einschalten (Fig. 99). Die Bürsten liegen dabei auf den Lamellen, die mit den in der neutralen Zone nn liegenden Windungen direkt verbunden sind. Da selbst bei kleinen Ringankern die Wickelung schon aus einigen Hundert Windungen besteht, so würde die in Fig. 99 dargestellte Anordnung wegen der zahlreichen Lamellen zur Anw[endung] von sehr teueren Kollektoren führen.

Bei den in der Praxis ausgeführten Ringankern ist die Zahl [der] Kollektorlamellen meistens kleiner als die Zahl der wirksamen Leiter

Windungen auf dem Anker. Zwischen je zwei benachbarten Lamellen ist eine auf dem Ringanker gewickelte Spule mit mehreren Windungen eingeschaltet; die Spulen desselben Ringankers haben gleiche Windungszahl. Das Schema eines solchen Ankers ist in Fig. 100 dargestellt,

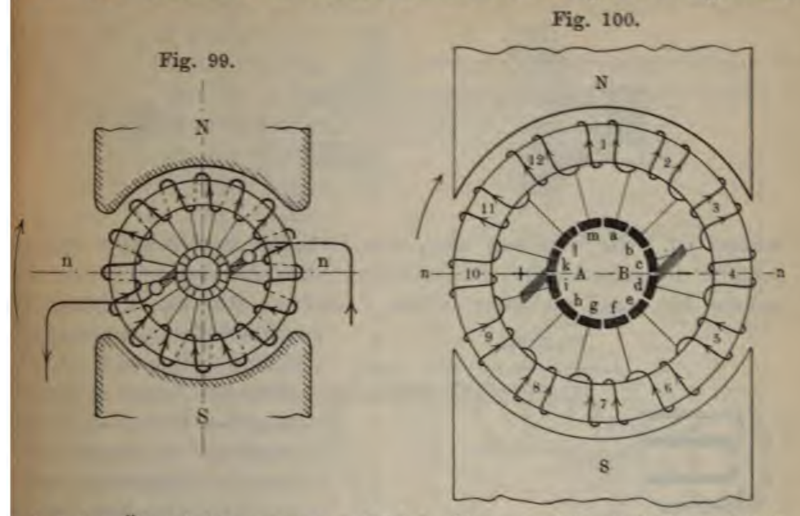


Fig. 99. Fig. 100.

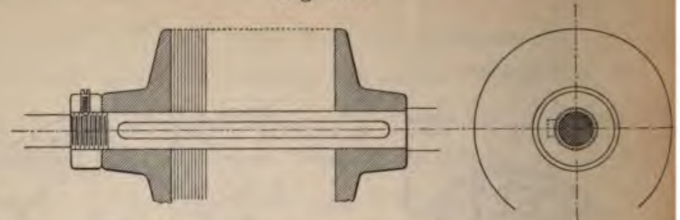
vobei der Übersicht wegen nur 12 Lamellen gezeichnet sind, und jede Ankerspule nur zwei Windungen hat. Der Anfang einer Spule und las Ende der vorhergehenden sind durch einen Draht oder Stab aus Kupfer mit der entsprechenden Lamelle verbunden.

Nur diejenigen Verbindungen der Ankerwickelung mit dem Kollektor lienen zur Stromleitung, welche an die Lamellen angeschlossen sind, die erade unter den Bürsten liegen. Die Strecke, längs welcher die Metallbürsten am Kollektorumfang aufliegen, ist gleich der Breite der Kollektorlamellen oder etwas gröfser. Da die Isolierschicht aus Glimmer zwischen den Lamellen nur sehr schmal ist, so wird zeitweise die Bürste gleichzeitig zwei Lamellen bedecken (Fig. 100) und die zwischen diesen Lamellen liegende Ankerspule kurz schliefsen. Dies ist in Fig. 100 der Fall für die Spulen 4 und 0. Über die Wirkungen dieses Kurzschlusses ist ausführlich die Rede in 44. Durch den Kurzschlufs wird zugleich auch jeder Ankerhälfte die Wirksamkeit einer Spule und damit einer bestimmten Anzahl wirksamer Ankerleiter entzogen. Dabei erfolgt freilich der Kurzschlufs einer Spule zu iner Zeit, wo die in der Spule induzierte E. M. K. fast gleich Null ist. Immerhin entstehen Schwankungen der induzierten E. M. K., die aber um o geringer ausfallen, je gröfser die Spulenzahl ist. Aufserdem trägt die elbstinduktion der Ankerspulen (§ 30) dazu bei, die Schwankungen der E. M. K. ezw. des Stromes abzuschwächen.

§ 34. Der Trommelanker. Der Trommelanker hat die Gestalt ines Cylinders und ist, wie der Ringanker, aus Eisenblechen aufgebaut. Fig. 101 stellt einen Trommelanker für kleine Maschinen dar. Die Eisenblechscheiben sind direkt auf die Welle aufgesetzt; sie sind, wie beim Ringanker, durch Blätter aus dünnem Papier voneinander getrennt

und werden durch zwei kräftige Scheiben aus Bronze oder Gufse zusammengehalten. Fig. 102 stellt eine Spule 1 — 1′ aus zwei V dungen auf dem Trommelanker dar, der für ein zweipoliges Feld

Fig. 101.



stimmt ist. Die Windung entspricht fast dem rechteckigen Achs schnitte des cylindrischen Ankerkörpers; d. h. die Spule des Tromn ankers hat zwei wirksame Seiten 1 und 1′, die am Umfang Ankers fast diametral ander gegenüber lieg Zwischen den Kollekt lamellen *b* und *c* ist Spule 2 — 2′ eingeschal Da der Einfachheit weg nur 8 Kollektorlamellen genommen sind, so hal wir auch 8 Spulen, a

Fig. 102.

mit Bezug auf Fig. 102 16 . 2 wirksame Ankerleiter. Am Umfan des Ankers (Fig. 102) sind also an 16 Stellen gleichmäfsig vert wirksame Drähte angebracht, so dafs 16 Wickelungsfelder v handen sind.

In den nächsten Figuren 103 bis 109 wollen wir der Übersic lichkeit wegen in jedem Wickelungsfelde nur einen Draht annehm so dafs jede Ankerspule eine Windung enthält. Bei den wirklich a geführten Trommelankern ist die Zahl der Kollektorlamellen erhebl gröfser als 8, auch ist meistens zwischen je zwei Lamellen eine Sp mit mehreren Windungen eingeschaltet.

Fig. 103 stellt das Schema der Wickelung eines zweipolig Trommelankers dar. Die Verbindungen der wirksamen Drähte den Stirnflächen sind durch einfache Linien dargestellt, die auf vorderen Stirnfläche ausgezogen, auf der hinteren punktiert si Gehen wir in der Uhrzeigerrichtung von 1 aus, so liegt 1′ im 7. Wick lungsfelde von 1.

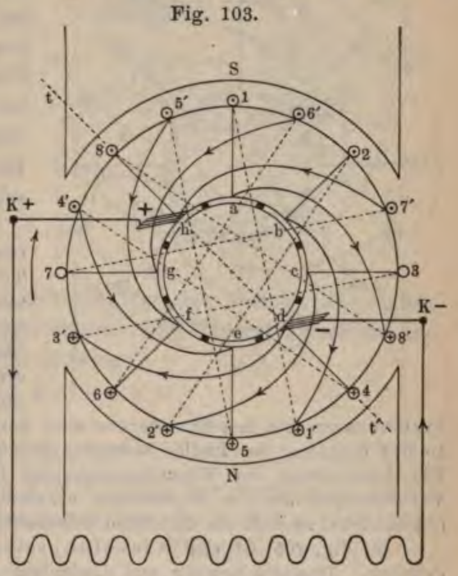
Die Spule 1 — 1′ hat ihren Anfang 1 bei *a* und ihr Ende 1′ bei *b*. Spule 8 — 8′ beginnt an der Lamelle *h* und endet bei *a*. So ist der Anfan der Spule 1 mit dem Ende 8′ der Spule 8 verbunden. Der sogenannte Wick lungsschritt ist gleich 7, d. h. der Anfang der Spule 5 ist mit dem En der Spule 5 + 7 = 12, d. i. (8) + 4, also mit dem Ende der vierten Sp oder mit 4′ verbunden. Die Theorie der Ankerwickelungen lehrt die Gese

erbindung der Ankerspulen und ermittelt den Wickelungsschritt aus
ahl der Wickelungsfelder, aus der Polzahl und der Zahl der Anker-
zweige.

Betrachten wir die Lage der Windungen 1 — 1′, 2 — 2′, u. s. w.,
ht jede aus der vorhergehenden durch eine Rechtsdrehung um
Winkel von 45° über.

Der Pfeil am Umfange des Ankers gibt die Drehungsrichtung des-
n an. Für die in Fig. 103 dargestellte Lage des Ankers sind die
ungen der induzierten
romotorischen Kräfte
n Ankerleitern ange-
. In den beiden
rn 8 und 7′, die direkt
er Lamelle h verbun-
ind, wirken die elek-
torischen Kräfte nach
. In den Leitern, die
er Lamelle d verbun-
ind, wirken die elek-
torischen Kräfte nach
n. Bei der in Fig. 103
chteten Stellung des
rs ergibt sich leicht
Verfolgen der Strom-
ing, dafs die fest-
nden Bürsten auf den
llen h und d aufliegen.
Bürsten liegen in

Fig. 103.



Linie tt' auf, die von der neutralen Zone abweicht. Diese Ab-
ung fällt um so geringer aus, je gröfser die Zahl der Wickelungs-
oder der Spulen ist. Bei dem nach dem Wickelungsschema
103) wirklich ausgeführten Anker ist tt' nahezu senkrecht zur
ndungslinie der Pole. Für die Stellung des Ankers (Fig. 103)
wir die beiden Ankerstromzweige

$$B_{-}\left\langle \begin{array}{l} v\ 3'\ h\ 3\ v\ 2'\ h\ 2\ v\ 1'\ h\ 1\ v\ 8'\ h\ 8 \\ v\ 4\ h\ 4'\ v\ 5\ h\ 5'\ v\ 6\ h\ 6'\ v\ 7\ h\ 7' \end{array} \right\rangle B_{+}$$

Die Buchstaben v und h sollen Verbindungen bezw. auf der
ren und hinteren Stirnfläche bezeichnen.

Jeder der beiden Ankerstromzweige enthält gleich viele wirksame
r. Hat sich der Anker um 45° gedreht (Fig. 104), so liegt jetzt
Lamelle g unter + Bürste, dagegen die Lamelle c unter der
rste, und wir haben folgende Gruppierung der wirksamen Leiter

$$B_- \begin{cases} v\,2'\,h\,2\,v\,1'\,h\,1\,v\,8'\,h\,8\,v\,7'\,h\,7 \\ v\,3\,h\,3'\,v\,4\,h\,4'\,v\,5\,h\,5'\,v\,6\,h\,6' \end{cases} B_+$$

d. h. im Vergleich zur vorigen Gruppierung haben die beiden Ankerstromzweige die Leiter 3′, 3 und 7, 7′ gegeneinander ausgetauscht, und während im ersten Schema (Fig. 103) der Strom von 3′ nach 3 bezw. 7 nach 7′ fliefst, geht er beim zweiten Schema (Fig. 104) von 3 nach 3′ bezw. 7′ nach 7. Diese Drähte haben bei der betrachteten Bewegung die neutrale Zone passiert, und dabei ist die Richtung der E. M. K. in ihnen umgekehrt.

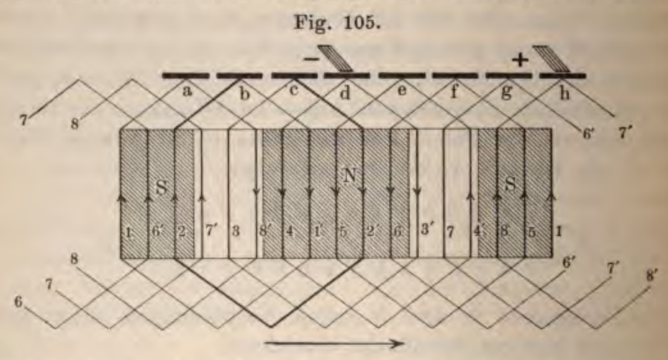
Fig. 104.



Schneidet man längs des Leiters 1 (Fig. 103) den Mantel der Trommel auf, und wickelt man ihn mit den Leitern in eine Ebene ab, so ergibt sich Fig. 105. Für die Stellung des Ankers (Fig. 103) sind die Pole hinter den Drähten durch schraffierte Flächen angedeutet. Die Verbindungen auf den Stirnflächen sind durch gebrochene Linien dargestellt. In der Richtung des Pfeiles bewegen sich die Drähte an den Polen vorüber. Die Ausbreitung des Wickelungsschemas in eine Ebene läfst sehr gut die Verbindungen an den Stirnflächen erkennen. Der Kollektor ist gleichfalls abgewickelt, so dafs die Lamellen nebeneinander liegen.

In Fig. 105 ist ein Wickelungselement 2 — 2′ besonders hervorgehoben. Dasselbe besteht aus denjenigen Ankerleitern, die zwischen zwei

Fig. 105.



in der Wickelung aufeinander folgenden Kollektorlamellen liegen. Jedes Wickelungselement hat beim Trommelanker zwei wirksame Seiten. Denken wir uns an den 16 Wickelungsfeldern Nuten zur Aufnahme der Ankleiter angebracht und ziehen wir von der Lamelle a den Draht dur das Wickelungsfeld 1, dann durch 1′, nun über die vordere Stirnfläc und wieder durch 1 — 1′ und so fort mehrere Male, so erhalten wir

ickelungselement eine **Ankerspule** mit mehreren Windungen. Auf diese eise kann zur Steigerung der E. M. K. (vergl. Formel 29) die Zahl z der irksamen Ankerleiter vermehrt erden.



Fig. 106.

Je zwei benachbarte und arallele Spulen, z. B. 3 — 3′ und 7 — 7′, sind durch die ürsten kurz geschlossen, ährend die Drähte 3′ und 7′ erade in der neutralen Zone z liegen (Fig. 106). Bei hin- eichend grofser Zahl der pulen liegen die Ebenen der Windungen 3 — 3′ und 7 — 7′ n diesem Augenblick des Kurz- chlusses nahezu senkrecht ur Pollinie. Während dieses urzschlusses, bei welchem ie Enden der Spulen 3 — 3′ durch die negative Bürste, die Enden er Spule 7 — 7′ durch die positive Bürste ohne Widerstand verbunden ind, haben wir folgende Ankerstromzweige:

$$B_{-}\left\langle \begin{array}{l} 4\ h\ 4'\ v\ 5\ h\ 5'\ v\ 6\ h\ 6' \\ 2'\ h\ 2\ v\ 1'\ h\ 1\ v\ 8'\ h\ 8 \end{array} \right\rangle B_{+}$$

Während des Kurzschlusses ist also die Zahl der wirksamen Drähte leiner. Auch hier gilt über das Schwanken der E.M.K., sowie über ie weiteren Wirkungen des urzschlusses das beim inganker (§ 33) Erwähnte.

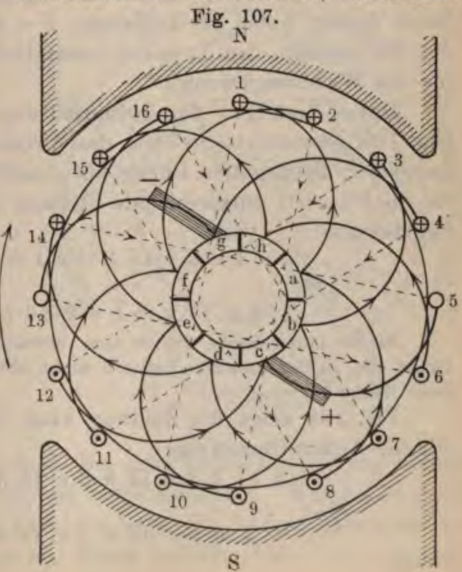


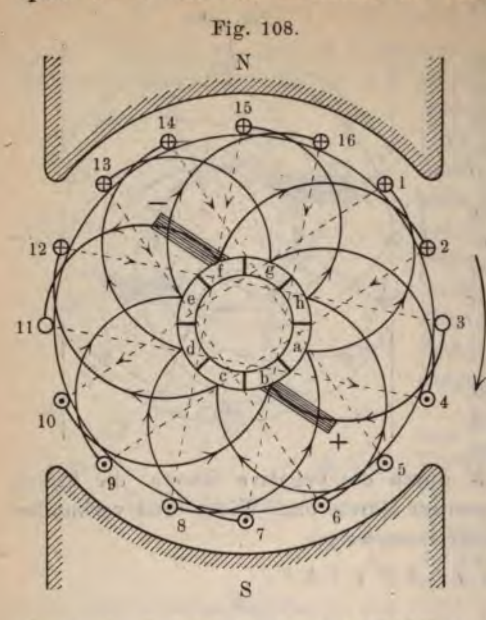
Fig. 107.

Verfolgt man von der amelle b (Fig. 105) aus en Linienzug b — 2 — 2′ — c — 3 — 3′ — d u. s. w., o ergibt derselbe den Ver- auf einer Schleifenlinie. ie in Fig. 103 bis 106 argestellte Wickelung ist ie einer **rechtsgängigen chleifenwickelung.**

Die Spannungsdiffe- nz zwischen zwei benach- rten Spulen einer Trom- elwickelung wird im aximum gleich der ganzen ürstenspannung. In Fig.

104 ist z. B. die Spule 7 — 7′ mit der + Bürste, die bena
Spule 3 — 3′ mit der — Bürste in Verbindung. Diese Eige

Fig. 108.



finden wir bei jeder
melwickelung und
derselben wird der
melanker für die Erz
hoher Spannungen
eignet (vergl. § 38).

Zweipoliger
melanker mit W
wickelung (Fig
a. v. S.). Auch hi
der Übersicht weg
16 Wickelungsfelder
nommen. Der Anke
107) soll sich i
Richtung der Uhr
bewegung im magne
Felde drehen.

Zwischen den La
a und *b* liegen die
samen Ankerdrähte 1
welche ein **Wickel**
element oder eine **Ankerspule** bilden. Der Leiter 1 ist auf d
deren Stirnfläche über *a* mit 8 verbunden, dieser auf der hinteren
fläche mit 15 u. s. w.; die Verbindung geht immer um 7 Wick
felder weiter, wobei der Linienzug 1 — *a* — 8 — 15 — *h* — 6
den Mittelpunkt der Trommel umschliefst. Dies ist charakte
für die Wellenwickelung.

Durch Verfolgen der Stromrichtung ergibt sich, dafs für
Fig. 107 gezeichnete Stellung des Ankers die positive Bürste a
Lamelle *c*, die negative Bürste auf *g* aufliegt. Wir erhalten de
für die Fig. 107 entsprechende Stellung des Ankers die beiden A
stromzweige:

$$B_- \left\langle \begin{array}{l} 13\;h\;6\;v\;15\;h\;8\;v\;1\;h\;10\;v\;3\;h\;12 \\ 4\;h\;11\;v\;2\;h\;9\;v\;16\;h\;7\;v\;14\;h\;5 \end{array} \right\rangle B_+$$

In der einen Reihe ist in dem betrachteten Augenblick (Fig. 10
Draht 13, in der anderen Reihe 5 nicht aktiv, weil diese in der neu
Zone liegen.

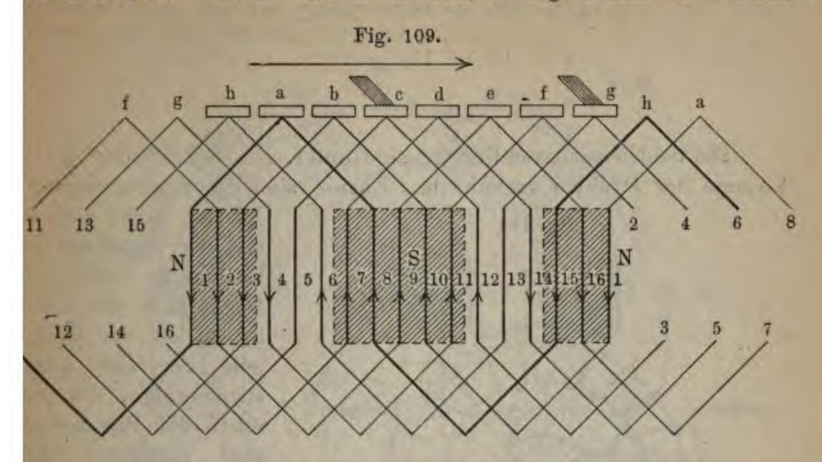
Fig. 108 zeigt die Stellung nach einer Drehung um 45°,
wir die Ankerstromzweige:

$$B_- \left\langle \begin{array}{l} v\;11\;h\;4\;v\;13\;h\;6\;v\;15\;h\;8\;v\;1\;h\;10\;v \\ v\;2\;h\;9\;v\;16\;h\;7\;v\;14\;h\;5\;v\;12\;h\;3\;v \end{array} \right\rangle B_+$$

haben.

Schneidet man die Wickelung (Fig. 107) längs des Drahtes 1 auf, ıd breitet man sie in eine Ebene aus, so ergibt sich das Schema

Fig. 109.

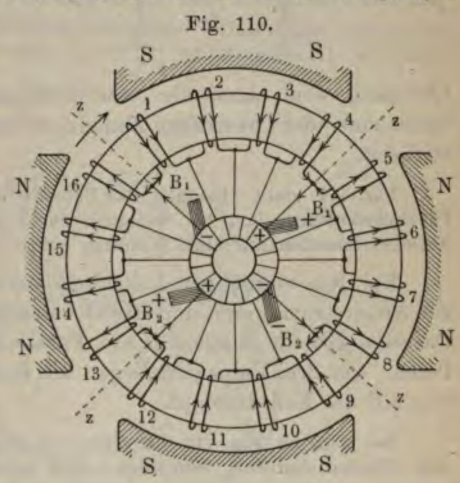


ig. 109. Verfolgt man den Linienzug 10 — 1 — 8 — 15 u. s. w., so ıigt sich, dafs die Wickelung (Fig. 107 bis 109) eine Wellenwicke-ıng ist.

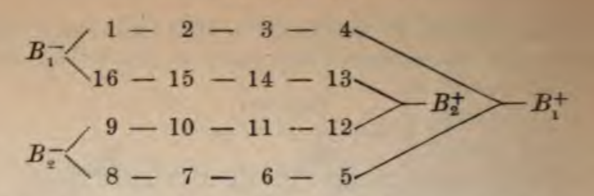
§ 35. Der vierpolige Ringanker mit Parallelschaltung.

ie Wickelung des Ringankers (Fig. 110), der in einem vierpoligen elde rotiert, unterscheidet ch in der Anordnung der pulen nicht von der in Fig.)0 dargestellten Wicke-ıng des zweipoligen Ring-ıkers. Um den Umfang es Ankers (Fig. 110) herum egen in symmetrischer nordnung abwechselnd ord- und Südpole. Der inganker (Fig. 110) ent-ält 16 Spulen mit je zwei Vindungen und je zwei irksamen Ankerleitern. ür die in Fig. 110 dar-estellte Lage des An-ers sind die Stromrich-

Fig. 110.



ıngen in den Spulen angegeben. Bei einer vollen Umdrehung wechselt er Strom in jeder Spule viermal seine Richtung. Wir haben ferner wei neutrale Zonen *zz*. Für jede Lage des Ankers haben wir vier nkerstromzweige, und zwar mit Bezug auf Fig. 110:



Die beiden positiven Bürsten sind unter sich und mit der +-Polklemme der Dynamo verbunden. Ebenso sind die beiden negativen Bürsten unter sich und mit der negativen Polklemme in Verbindung. Die E. M. K. des Ankers ist gleich der E. M. K. jedes der vier Ankerstromzweige, die zwischen den Bürsten parallel geschaltet sind. Gibt der Anker den Strom i Ampère, so fliefst durch jeden der Ankerstromzweige der Strom $i/4$. Bei der Rotation des Ankers tauschen die Ankerstromzweige ihre Spulen gegeneinander aus, beim Übergang von einer der vier Gruppen zur anderen passiert die Spule eine der neutralen Zonen, wobei die E. M. K. ihre Richtung wechselt.

Fig. 111.

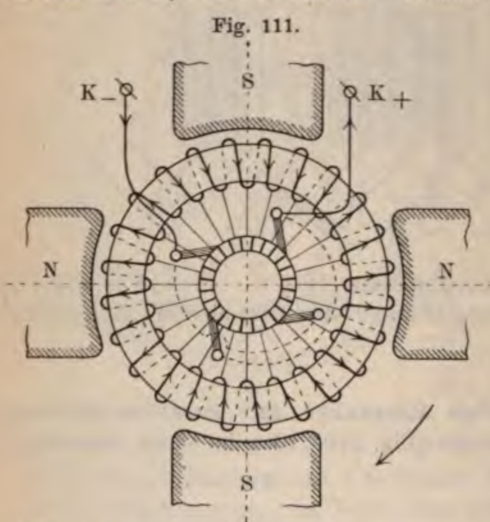


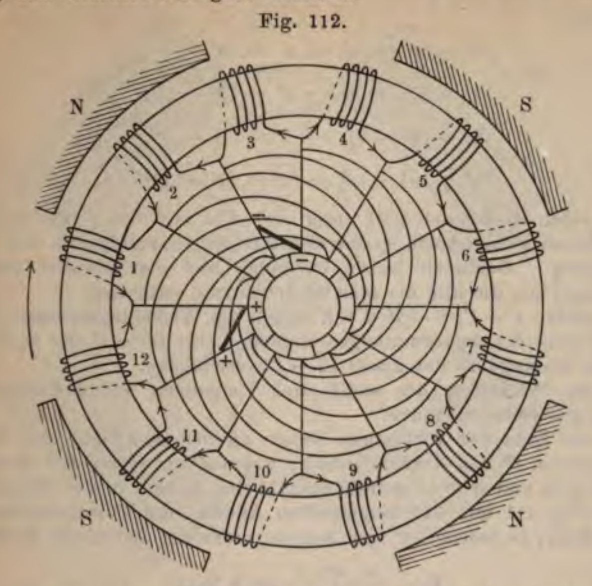
Fig. 111 stellt ebenfalls das Schema eines vierpoligen Ringankers mit Parallelschaltung dar, bei welchem der Übersicht wegen zwischen je zwei Kollektorlamellen nur eine Windung gelegt ist.

Bei dem vierpoligen Anker mit Parallelschaltung stimmt die Zahl der Ankerstromzweige und der Bürsten mit der Zahl der Pole überein. Dasselbe gilt für Ringanker mit Parallelschaltung bei sechs und mehr Polen. Bei drei Polpaaren liegen die sechs Bürsten im Winkelabstand von 60° am Kollektor auf.

Bei dem in Fig. 112 dargestellten Ringanker ist die Anwendung von vier Bürsten dadurch vermieden, dafs neben dem Kollektor Verbindungen zwischen den Spulen ausgeführt sind; z. B. ist die Lamelle, an welche die Spulen 8 und 9 angeschlossen sind, in dauernder Verbindung mit der Lamelle, die mit den Spulen 2 und 3 zugleich verbunden ist. Durch diese Verbindungen werden zwei Bürsten unnötig trotz der vier Ankerstromzweige. Die beiden erforderlichen Bürsten liegen um 90° voneinander entfernt am Kollektor auf. Dies bietet den Vorteil, dafs die Bürsten so eingestellt werden können, dafs sie

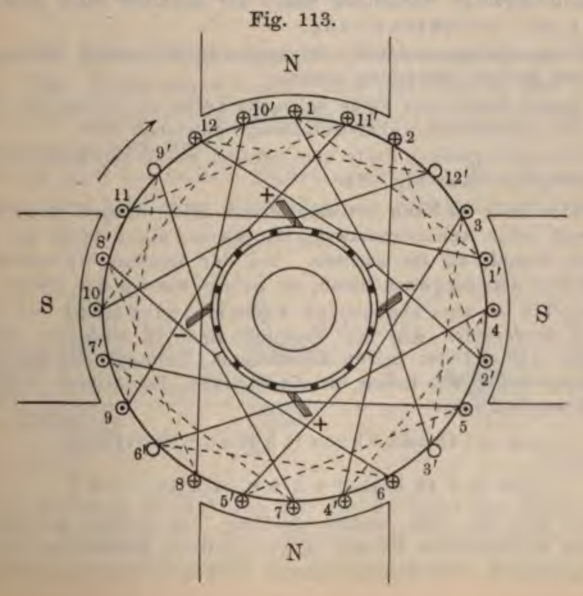
leicht zugänglich sind und bequem beobachtet werden können. Dagegen ist das Unterbringen der Verbindungsdrähte an der Stirnfläche des Ankers schwierig und erfordert sehr gute Isolation.

Fig. 112.



§ 36. Der vierpolige Trommelanker mit Parallelschaltung. Ankerwickelungen mit Serienschaltung. Unter den zahlreichen verschiedenen Wickelungen ist der in Fig. 113 dargestellte vierpolige

Fig. 113.



Trommelanker mit Schleifenwickelung ausgewählt. Der Übersicht wegen ist die Zahl der Ankerspulen zu 12 angenommen.

Für die in Fig. 113 gezeichnete Stellung des Ankers haben wir folgenden Stromlauf

```
      3' — 3  — 4' — 4  — 5' — 5
B— <                                  > B+
      2  — 2' — 1  — 1' — 12 — 12'
                                      X
      8  — 8' — 7  — 7' — 6  — 6'
B— <                                  > B+
      9' — 9  — 10' — 10 — 11' — 11
```

Die beiden +-Bürsten sind unter sich und mit der +-Polklemme verbunden; ebenso stehen beide —-Bürsten mit der —-Polklemme der Dynamo in Verbindung. Demnach haben wir auch hier vier parallel geschaltete Ankerstromzweige, die alle die gleiche Spulenzahl enthalten.

Die Drähte 1 — 1', 2 — 2' u. s. f. bilden ein Wickelungselement, das hier etwa ein Viertel des Ankerumfanges umfaſst. Das Ende 1' der Spule 1 — 1' ist mit dem Anfange 12 der Spule 12 — 12' verbunden.

Auf die Wickelung der sechs- und vielpoligen Trommelanker wollen wir hier nicht weiter eingehen.

Ist z die Zahl der wirksamen Leiter an der Oberfläche des Trommel- oder Ringankers, Φ der Kraftlinienfluſs, welcher von jedem der Nordpole in den Anker tritt und n die Umdrehungszahl des Ankers in der Minute, so ist in dem in Fig. 111 und 113 dargestellten Ankern mit Parallelschaltung die im Anker bezw. in jedem der vier Ankerstromzweige induzierte E. M. K.

$$E = \frac{n \cdot \Phi \cdot z}{60} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Bei den vierpoligen und mehrpoligen Trommel- und Ringankern können die Ankerleiter bezw. die Ankerspulen auch so verbunden werden, daſs nur zwei Ankerstromzweige vorhanden sind, wir erhalten dann eine Ankerwickelung mit Serienschaltung.

Ein Trommelanker enthalte z wirksame Leiter, welche wir uns in zwei verschiedenen Weisen verbunden denken:

1. bei einem vierpoligen Felde seien die Leiter so verbunden, daſs zwei parallel geschaltete Ankerstromzweige entstehen oder
2. bei einem vierpoligen Felde vier parallel geschaltete Ankerstromzweige sich ergeben nach Fig. 111.

Im ersten Falle ist dann die induzierte E. M. K. doppelt so groſs wie im zweiten, weil jeder Ankerstromzweig im ersten Falle doppelt so viel wirksame Leiter enthält als im zweiten. Bei der zweiten Wickelung vermag aber der Anker den doppelten Strom zu liefern wie bei der ersten.

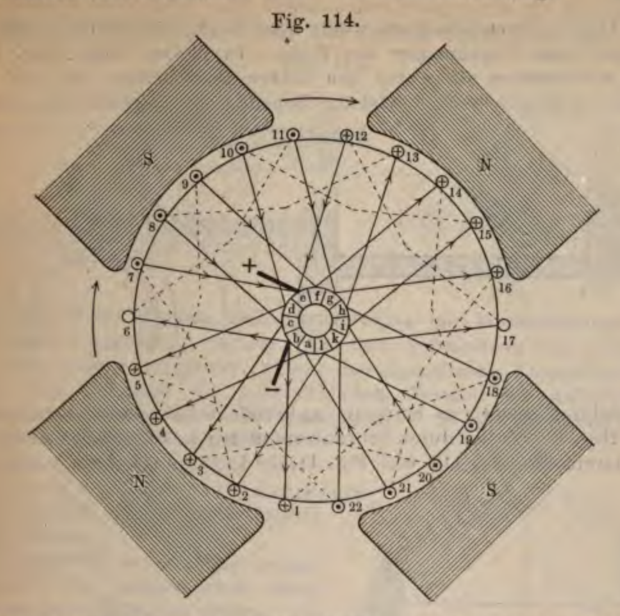
In Fig. 114 ist eine vierpolige Trommelwickelung mit Reihenschaltung dargestellt. Auf der Trommel sind 22 wirksame Leiter vorhanden. Der Abstand der beiden Bürsten am Umfange des Kollektors gemessen beträgt 90°. Wir haben für die Stellung des Ankers (Fig. 114) die beiden Ankerstromzweige

```
      1 h 18 v 13 h 8 v 3 h 20 v 15 h 10 v 5 h 22 v 17 h 12
B— <                                                       > B+
      6 h 11 v 16 h 21 v 4 h 9 v 14 h 19 v 2 h 7
```

Ebenso sind für jede andere Stellung des Ankers sämtliche wirksamen Leiter zwischen den Bürsten in zwei parallel geschalteten Ankerstromzweigen angeordnet. Die Serienschaltung wird meist für höhere Spannungen

) Volt und mehr) angewandt. Die Dynamos für elektrische Beleuchtung Bord haben ohne Ausnahme Anker mit Parallelschaltung.

Fig. 114.

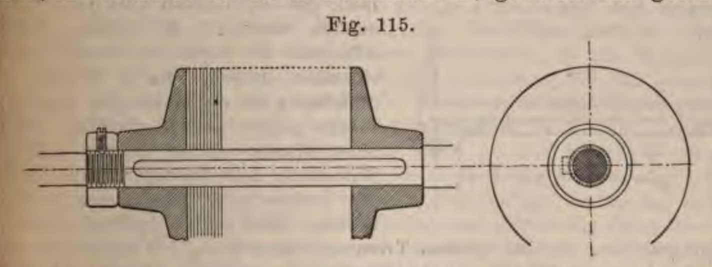


Über andere Ankerwickelungen und über die Theorie der Ankerwicke- ngen überhaupt ist nachzusehen in E. Arnold, Die Ankerwickelungen und nkerkonstruktionen der Gleichstrom-Dynamomaschinen. Berlin und München 901.

§. 37. Der Ankerkörper und die Konstruktion der Anker- ickelung. Der Ankerkörper besteht aus der Welle, der Anker- üchse oder dem Ankerstern und dem Ankerkern, der aus Eisen- lechen zusammengesetzt wird.

Die Welle wird aus bestem Stahl angefertigt. Die Wellenzapfen llen, insbesondere bei hohen Tourenzahlen, gehärtet und geschliffen

Fig. 115.

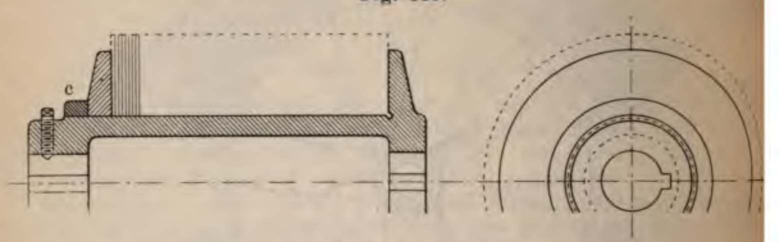


in. Die Zapfenlänge beträgt das 2,5- bis 3,5fache des Zapfendurch- essers. Die Schmierung wird meistens als Ringschmierung aus- führt. Der Ankerstern oder die Ankerbüchse soll die Anker-

bleche zusammenpressen und die Verbindung derselben mit der W herstellen.

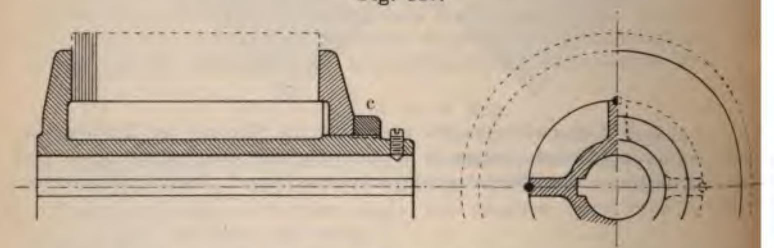
Bei kleinen Trommelankern wählt man häufig die Bohrung der Ank bleche gleich dem Durchmesser der Welle. In diesem Falle (Fig. 115) steht die Ankerbüchse allein aus den beiden Endscheiben, die aus Bro oder Eisen hergestellt werden. Ist die Bohrung der Ankerbleche gröfser

Fig. 116.



der Wellendurchmesser, so mufs die Ankerbüchse eingesetzt werden. Ma prefst hierbei die Bleche durch Schraubenmuttern *c*, die auf der Ankerbüchs sitzen, zusammen (Fig. 116 und Fig. 117). In Fig. 117 haben die Rippe

Fig. 117.



des Ankersternes und die Ankerbleche halbkreisförmige Nuten, in welch Rundkeile aus Stahl eingelegt werden, die beim Zusammensetzen zur Füh rung der Bleche dienen und ein Verschieben derselben verhindern.

Bei gröfseren Ankern können die Ankerbleche nicht in einem Stück hergestellt werden; in diesem Falle setzt man die einzelnen Scheiben au zwei oder mehreren Segmenten zusam men, die durch Löten miteinander ver bunden werden. In anderen Fälle läfst man die Segmente stumpf gegen einander stofsen. Dabei werden di Stofsfugen der nebeneinander liegende Bleche gegeneinander versetzt. Sämt liche Bleche werden mittels isolierte Schrauben und kräftiger Endscheibe aus Bronze oder Eisen zusammeng halten. Eine solche Zusammensetzun der Ankerbleche, die bei grofsen Trommelankern stets, bei kleineren auc wegen der besseren Ausnutzung der Blechtafeln empfehlenswert ist, hat de Anker Fig. 118.

Fig. 118.

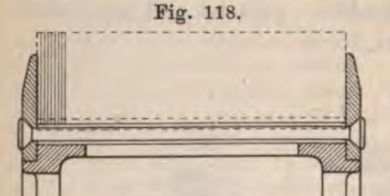
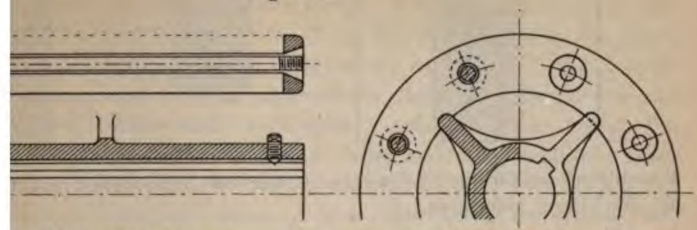


Fig. 119 zeigt einen Ankerstern für einen Ringanker, bei welchem di Rippen der Ankerbüchse direkt in ausgestanzte Nuten der Bleche eingreife

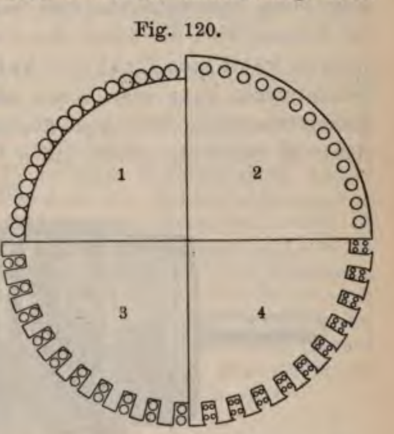
ı des stehenden magnetischen Feldes im Innern des stromdurch-
ingankers, das durch einen Ankerstern aus Eisen erheblich ver-
le (vergl. § 45), soll Bronze oder Messinggufs für den Ankerstern
kers verwendet werden. Bei grofsen Ringankern kann zunächst

Fig. 119.



r Welle sitzende Teil aus Gufseisen zur Verminderung der Her-
sten angefertigt werden. Auf dem gufseisernen Teil werden dann
ı Bronze aufgesetzt, welche den eigentlichen Ankerkörper tragen.
ig. 120 sind die gebräuchlichen Formen der Ankerbleche für
ıker dargestellt. Im Quadranten 1 ist die Bewickelung eines
ımmelankers dargestellt. Zur
ng des magnetischen Wider-
ischen Anker und Polschuh
ewickelung möglichst niedrig
erden.

Fig. 120.

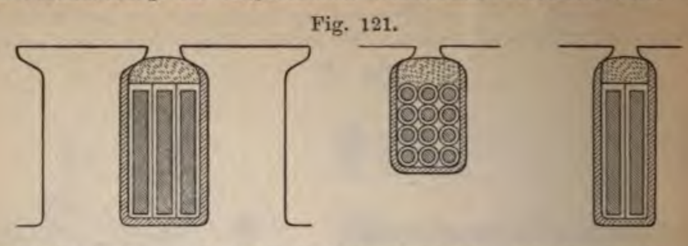


uf die stromdurchflossenen
te im magnetischen Felde
tialer Zug am Anfang des
ch der Gleichung (21) aus-
, der ihrer Bewegung ent-
, so müssen bei gröfseren
ıkern besondere Treibstützen
werden. Als solche dienen
les Ankers verlegte Leisten
Man kann auch die End-
es Ankers mit vorspringen-
ı versehen und die letzteren
ıtzen verwenden. Bei kleinen
ıkern ist meist die Reibung
umfang grofs genug. Aufserdem werden die Drähte in allen
ch quer über die Wickelung gelegte Drahtbänder fest angeprefst,
Vickelung gegen die Wirkung der Centrifugalkraft zu schützen.
anker können die Treibstützen fortbleiben, da die Speichen des
es die Windungen in ihren Lagen festhalten. Fig. 120, Quadrant 2,
Lochanker dar; die Bleche haben nahe dem Umfange regel-
teilte Löcher, welche zur Aufnahme der Wickelung dienen. In
lle kann der Ankerkern sehr nahe an die Polschuhe gebracht
odurch der magnetische Widerstand des Luftzwischenraumes herab-
wird. Jedoch ist der für die Wickelung zur Verfügung stehende
hränkt. Drahtbänder zum Halten der Wickelung fallen fort. Die
tinduktion in den Spulen und die damit verbundene Neigung zur
lung am Kollektor sprechen sehr gegen die Verwendung der Loch-

Quadrant 3 (Fig. 120) zeigt den Zahnanker, der sehr viel ver-
rd. Sehr beliebt ist auch die im Quadranten 4 dargestellte Form,

bei welcher die Zähne sich am Umfange verbreitern, wodurch eine wesentliche Verminderung des magnetischen Widerstandes erreicht wird. Durch

Fig. 121.

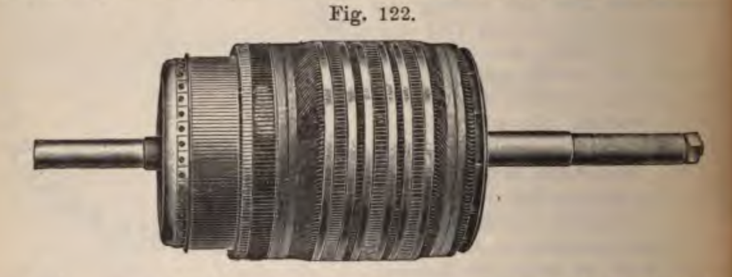


Einschieben keilförmiger Leisten aus Isolierstoff (Holz, siehe Fig. 121) kann man die Wickelung befestigen.

Ringanker werden mit wenigen Ausnahmen als glatte Anker hergestellt.

Die mechanische Ausführung der Ankerwickelung weicht, namentlich bei dem Trommelanker, erheblich von den in § 33 bis 36 gegebenen Schemata ab, und bei derselben kommt sehr viel an auf die Stromstärke, die durch den Ankerleiter fließt. Für kleinere Stromstärken wählt man Drahtwickelung, für größere Stabwickelung. Zur letzteren kann man schon übergehen, wenn die Stromstärke im Ankerstromzweig 50 Amp. übersteigt. Bei der Drahtwickelung besteht die Spule aus einem Stück Draht oder für größere Stromstärken

Fig. 122.



aus mehreren parallel geschalteten Drahtstücken. Bei der Stabwickelung ist jede Windung aus zwei oder mehreren Teilen zusammengesetzt bezw. zusammengelötet. Das Abbiegen der einzelnen Teile geschieht auf besonderen Schablonen. Nach dem Biegen werden die Teile der Windung isoliert. Durch dieses Verfahren wird die Herstellung der Wickelung erleichtert, die Isolation verbessert und zugleich ein leichteres Auswechseln einzelner Teile ermöglicht, wozu als weitere Vorteile große Widerstandsfähigkeit und Festigkeit der Wickelung hinzukommen. In Fig. 122 ist ein Anker mit Stabwickelung von Siemens und Halske dargestellt.

Auf die Ausführung der Wickelung können wir hier nicht eingehen, wir verweisen auf das vorzügliche Handbuch von E. Arnold, Die Ankerwickelungen und Ankerkonstruktionen der Gleichstrommaschinen.

rahtwickelung kann ebenfalls auf Schablonen ausgeführt werden, die Spulen solche Gestalt erhalten, dafs sie ohne Veränderung em Ankerkörper befestigt werden können. Besonders hervoren sei die Wickelung von R. Eickemeyer, bei welcher ittels Schablonen hergestellten Spulen mit den aus Stäben herlten gleiche Gestalt haben; für beide Wickelungen sind die Querdungen der Spulen an den Stirnflächen in solcher Weise in zwei elle senkrechten Ebenen angeordnet, dafs eine Berührung der kreuzenden Drähte nicht vorkommt. Aufserhalb der Nuten des s liegen die Spulen frei und sind daher sehr gut ventiliert. Diese le finden wir nicht bei der gewöhnlichen Drahtwickelung der nelanker, bei der die Drähte an den Stirnflächen im Wulst überler liegen; derartige Wickelungen werden auch meist nur für Maschinen ausgeführt.

n allen Fällen mufs jedoch die Wickelung so ausgeführt sein, lie einzelnen Ankerspulen gleichen Widerstand und gleiche Selbsttion haben; ferner mufs das Gewicht der Wickelung am Ankerg gleichmäfsig verteilt sein.

Abkühlung des Ankers. Damit die Temperatur des Ankers infolge rwärmung durch Wirbelströme und Hysteresis, sowie durch die in ickelung erzeugte Wärme nicht zu grofs wird, soll die abkühlende berfläche in einem angemessenen Verhältnisse zur gesamten im Anker erzeugten Wärme stehen. Über die zulässige Erwärmung des Ankers §. 109. Auch ist die Temperaturzunahme des Ankers abhängig von entilation des Maschinenraumes. Für die Abkühlung des Ankers ist ers die Gröfse der Ankeroberfläche, die Umdrehungszahl und die Benheit der frei liegenden Teile der Ankeroberfläche von Bedeutung. lers wird die Abkühlung des Ankers gefördert, wenn die Luft zwischen indungen treten kann. Bisweilen begünstigt man die Abkühlung des s durch besondere Luftkanäle im Ankerkern. Zu diesem Zwecke n in bestimmten Abständen an Stelle der Ankerbleche gewellte Bleche Eisenbleche mit aufgenieteten Streifen u. s. w. verwendet.

§ 38. Vor- und Nachteile der Ring- und Trommelanker.

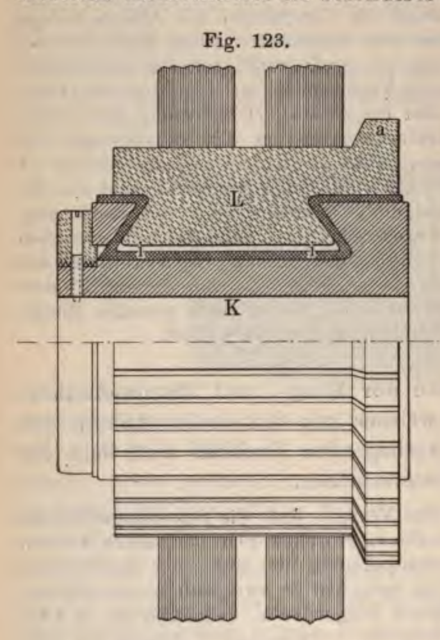
mein ist nicht anzugeben, welcher von den beiden Ankern den g verdient; je nach den vorliegenden Zwecken wird bald der bald der andere vorteilhafter erscheinen.

Der Ringanker hat zunächst den Vorteil, dafs die Spannungsdifferenz en zwei benachbarten Spulen bezw. zwischen den wirksamen Leitern ben gering ist. Ist e die Bürstenspannung und hat jeder Ankerstrom- m Spulen, so ist die Spannung zwischen je zwei aufeinander folgenur e/m. Wir haben schon darauf hingewiesen, dafs zwischen je zwei neutralen Zone liegenden Spulen des Trommelankers nahezu die volle nspannung vorhanden ist. Der Ringanker eignet sich somit besser rzeugung hoher Spannungen (für Gleichstrom wohl bis 3000 Volt) als rommelanker, welcher meist nur für Spannungen unter 600 Volt kont wird. Durch die Drähte an der Innenseite des Ringankers wird der widerstand erhöht und bei zu grofser Sättigung des Ankerkernes, wo von den Magnetpolen aus durch den Innenraum des Ringankers Kraft-

linien gehen, werden in den auf der inneren Seite des Ankers liegenden Leitern elektromotorische Kräfte induziert, die den in den äufseren Leitern hervorgebrachten entgegen gerichtet sind. Meist mufs auch aus praktischen Gründen der Durchmesser des Ringankers verhältnismäfsig grofs gewählt werden, um alle Drähte im Innern des Ringes unterbringen zu können. Der Wickelungsraum bei der Trommel ist dagegen nicht so beschränkt und bei der Stabwickelung kann man zur Verringerung des Ankerwiderstandes den Querverbindungen an den Stirnflächen gröfseren Querschnitt geben als den wirksamen Stäben. Beim Ringanker ist es des beschränkten Raumes wegen kaum möglich, die Drähte an der Innenseite des Ankers mit gröfserem Querschnitte zu wählen. Der Ankerstern des Ringankers mufs des stehenden Magnetfeldes wegen aus Bronze bestehen (vergl. S. 81). Im ganzen wird die Wickelung des Trommelankers besser für die Induktion der elektromotorischen Kräfte ausgenutzt als die Wickelung des Ringankers. Das Ausbessern einer Spule des Ringankers ist jedoch sehr viel leichter auszuführen als beim Trommelanker, bei welchem in vielen Fällen nach der Beschädigung einer Spule die ganze Wickelung abgenommen werden mufs. Beim Ringanker kann dagegen jede Spule für sich zur Ausbesserung herausgenommen werden.

§ 39. Der Kollektor und die Bürsten. Auf das funkenfreie Arbeiten des Kollektors ist besonderes Gewicht zu legen. Der Kollektor wird beständig abgenutzt und unter ungünstigen Verhältnissen sehr rasch. Bei funkenfreiem Gange und bei richtiger Wahl des Materials der Kollektorlamellen und der Bürsten kann der Kollektor mehrere Jahre dauernd ohne Störung im Betriebe sein. Das Material der Lamellen mufs sehr homogen und von gleicher Härte sein. Die Lamellen werden entweder aus stark kupferhaltiger Phosphorbronze gegossen oder aus hartem Profilkupfer ausgesägt. Fig. 123 stellt den Achsenschnitt durch einen Kollektor dar. Die Kollektorlamelle L wird seitlich und von der Kollektorbüchse K durch Glimmer, Prefsspan oder Asbest isoliert.

Fig. 123.



Am besten eignet sich wegen seiner grofsen Isolationsfähigkeit der weiche Glimmer; derselbe ist auch nicht hygroskopisch und sollte ausschliefslich in Kollektoren verwendet werden, die Witterungseinflüssen ausgesetzt sind oder in feuchten Räumen arbeiten. Kollektoren mit Glimmerisolation können auch ohne Beschädigung der Isolation hin und wieder ein wenig mit

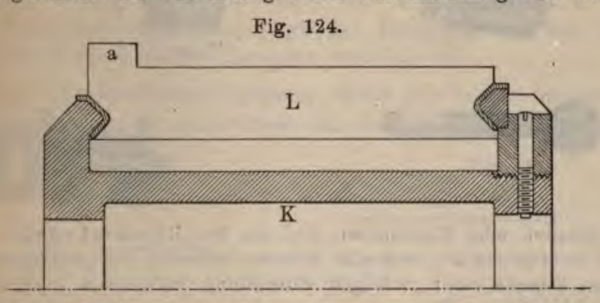
em ölbefeuchteten Lappen geschmiert werden, was zur Erhaltung des
llektors beiträgt.

In Fig. 124 und 125 sind verschiedene Formen von Kollektorkonstruk-
nen dargestellt.

In Fig. 124 ist zwischen der Lamelle und der Ankerbüchse genügende
olation durch Luft vorhanden.

Der Ansatz a dient zur Verbindung der Ankerdrähte mit der Lamelle.
itweder geschieht die Verbindung durch Verschraubung oder durch Ein-

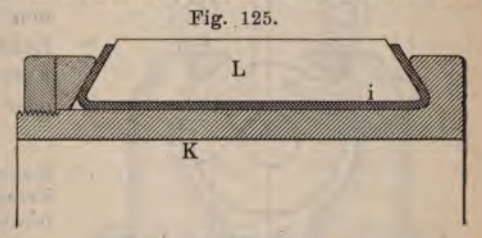
Fig. 124.



öten. Des besseren Kontaktes wegen gibt man dem Einlöten meistens den
orzug; beim Verschrauben ist ein Loslösen der Drähte zum Zwecke einer
usbesserung leichter ausführbar.

Als Bürsten verwendet man **Metallbürsten** oder **Kohlebürsten**.
ie Metallbürsten bestehen aus Drähten, dünnen Blechen oder aus
'ahtgewebe. Für diese
ll die Berührungsfläche
t dem Kollektor wenig-
ens 3 bis 4 qmm pro Am-
re betragen; bei Kohle-
rsten des gröfseren
iderstandes wegen 15 bis
qmm.

Fig. 125.



Bei allen Maschinen bringt man zur Herstellung eines genügenden
ontaktes zwei oder mehrere Bürsten nebeneinander an, so dafs wäh-

Fig. 126.



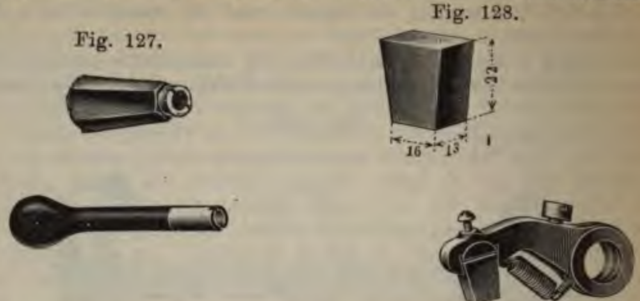
nd des Betriebes eine Bürste auch behufs Reinigung vorübergehend
genommen werden kann. Die Zahl der nebeneinander liegenden
rsten richtet sich nach der höchsten Stromstärke, welche die Dy-
mo liefert.

In Fig. 126 sind Metallbürsten nebst Halter von **Siemens und Halske**, A.-G., Berlin, dargestellt.

Fig. 127 zeigt einen kurzen und einen langen Bürstenschlüssel.

Fig. 128 stellt eine Kohlebürste von **Siemens u. Halske**, A.-G., Berlin, dar.

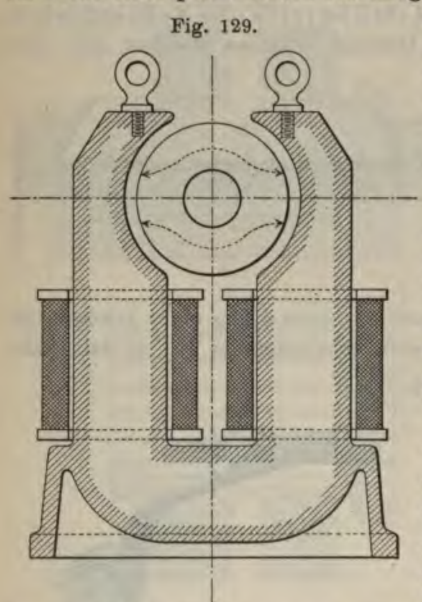
Fig. 127. Fig. 128.



Die Bürsten- oder Kohlehalter sind an der **Bürstenbrücke** befestigt, welche so konstruiert ist, dafs alle Bürsten während des Aufliegens gleichzeitig zum Zwecke einer richtigen Einstellung verschoben und dann festgestellt werden können[1]).

§ 40. Die Erregung der Gleichstromdynamos. Der Anker kann im Felde eines permanenten Stahlmagneten oder eines Elektromagneten (Fig. 129) rotieren. Maschinen mit permanenten Magneten eignen sich nur für sehr kleine Leistungen und heifsen **magnetoelektrische Maschinen** oder **Magnetmaschinen.**

Fig. 129.



Die Verwendung der Stahlmagnete hat den Vorteil, dafs die Erregerspulen am Magneten vermieden werden, und der Betrieb von Störungen in denselben damit unabhängig wird. Dagegen liefern die Elektromagnete sehr viel stärkere Felder und verdienen deshalb den Vorzug.

Maschinen mit Dauermagneten fallen gröfser und schwerer aus als solche mit Elektromagneten bei gleicher Leistungsfähigkeit. Dazu kommt, dafs der Magnetismus der Dauermagnete allmählich sich verringert, überhaupt aber durch Stofs, Wärme und durch die beim Betriebe unvermeidlichen Erschütterungen allmählich geschwächt wird (vergl. § 5).

Bei Anwendung der Elektromagnete wird während des Betriebes freilich

---

[1]) Besonders bei Anwendung von Metallbürsten an Dampfdynamos ist es nötig, die Bürstenbrücke so einzurichten, dafs vor dem Auslaufen des Ankers alle Bürsten gleichzeitig abgehoben werden können.

Energieverlust (siehe § 41) in den Magnetspulen eintreten, der bei An-
ndung von permanenten Magneten fortfallen würde.

Bei Anwendung von Elektromagneten kann entweder

1. eine besondere Stromquelle (Erregerdynamo, Akkumu-
or u. s. w.) vorhanden sein, welche den zur Erregung des Magneten
g. 129) erforderlichen Strom liefert; wir haben in diesem Falle eine
sonders erregte Dynamo oder eine Dynamo mit Erregung
rch Fremdstrom. Diese Art der Erregung ist fast bei allen
echselstromdynamos im Gebrauche (vergl. § 68).

2. Bei den Gleichstromdynamos finden wir in den meisten Fällen
Selbsterregung nach einer der drei nachbenannten Methoden.

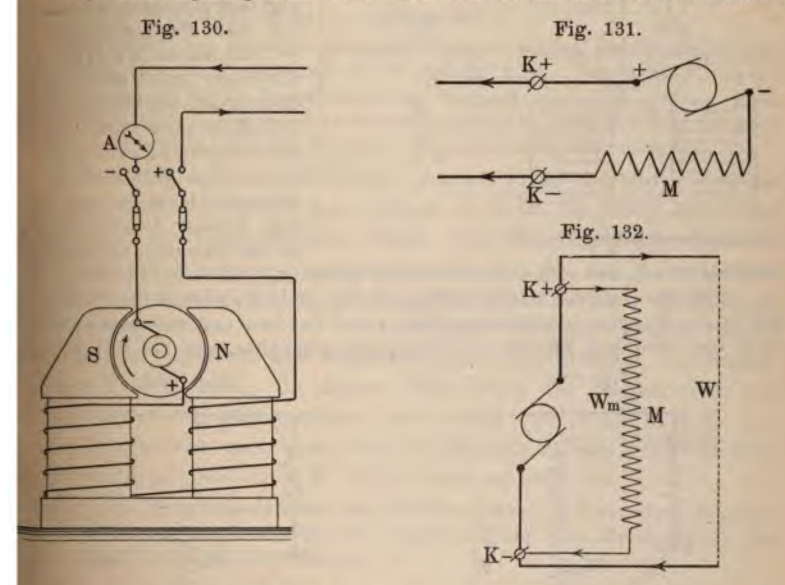


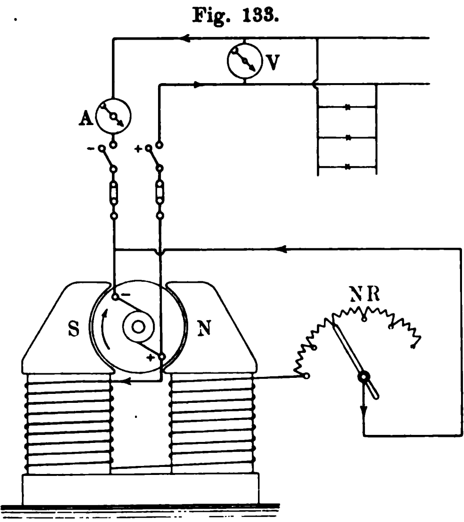
Fig. 130. Fig. 131. Fig. 132.

a) Der gesamte vom Anker gelieferte Strom fließt durch die
ckelung des Feldmagneten. Ankerwickelung, Magnetspulen und
serer Widerstand sind hintereinander geschaltet (Fig. 130 und 131).
namos dieser Art heißen Reihen- oder Hauptstromdynamos.

b) Der aus dem Anker fließende Strom teilt sich an der positiven
klemme K_+ (Fig. 132) in zwei Teile, von denen der größere als
tzstrom in den äußeren Stromkreis geht und dort zum Betriebe
Lampen, Motoren u. s. w. dient. Der kleinere Teil, etwa 2 bis
Proz. des vom Anker bei voller Belastung gelieferten Stromes, fließt
h die Magnetspulen und dann zur negativen Bürste zurück. Bei
en Dynamos, die als Nebenschlußdynamos bezeichnet werden,
d die Magnetspulen und der äußere Widerstand parallel ge-
altet (Fig. 133).

c) Eine Kombination der unter 2. und 1. besprochenen Erregung haben die **Dynamos mit gemischter Bewickelung**, die auch **Kompound- oder Doppelschlufs - Maschinen** genannt werden.

Fig. 133.



Bei diesen fliefst entweder

1. der ganze von dem Anker gelieferte Strom zunächst durch die sogenannte Hauptstromwickelung mit weniger zahlreichen Windungen und sehr geringem Widerstand um den Feldmagneten zur +-Polklemme K_+ (Fig. 134). An dieser findet eine Teilung des Stromes wie bei den Nebenschlufsdynamos statt. Die Nebenschlufswickelung ist zwischen den Polklemmen der Dynamo eingeschaltet. Auch hier beträgt die Stromstärke in der Nebenschlufswickelung nur 2 bis 5 Proz. des vom Anker bei voller Belastung gelieferten Stromes. Oder

2. an der positiven Bürste teilt sich der Strom in die Nebenschlufswickelung und in die Hauptstromwickelung (Fig. 135). Letztere und der äufsere Widerstand sind zwischen Bürsten hintereinander geschaltet, und der Nebenschlufs

Fig. 134.

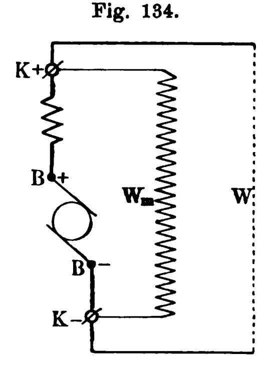
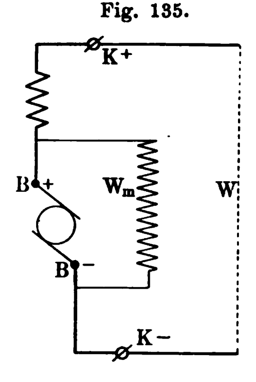


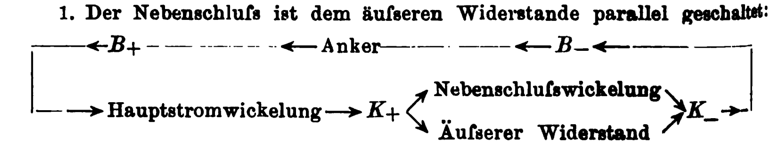
Fig. 135.



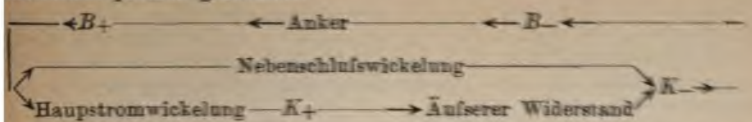
ist beiden parallel angelegt. Während in diesem Falle auf den Nebenschlufs die Bürstenspannung wirkt, wirkt im vorigen die Klemmenspannung auf ihn.

Durch folgendes Schema sind die Schaltungen bei den beiden Maschinen dargestellt.

1. Der Nebenschlufs ist dem äufseren Widerstande parallel geschaltet:



2. Der Nebenschlufs ist der Hauptstromwickelung und dem äufseren
iderstande parallel geschaltet:



Bei der **Selbsterregung** der Dynamo kommt das **dynamo-**
ektrische Prinzip von **Siemens** (1867) zur Anwendung. Der
rn der Feldmagnete besteht aus Gufseisen, Schmiedeeisen oder
istens aus Stahlgufs. Ist die Dynamo aufser Betrieb, so ist im
ldmagneten nur eine geringe Menge Magnetismus — der sogenannte
manente Magnetismus — vorhanden.

Jede einmal im Betriebe gewesene Dynamo besitzt meistens eine hin-
chende Menge von **remanentem Magnetismus**. Bei neuen Dynamos
nügt es, einmal durch Fremdstrom die Magnete stark zu erregen, nach
r Unterbrechung des Stromes in den Magnetspulen bleibt das Feld zwischen
n Polen so kräftig, dafs die Dynamo von selbst sich erregen kann.

Sobald der Anker in Drehung versetzt wird, entsteht wegen des
hwachen Feldes zunächst eine geringe E. M. K., die einen schwachen
rom durch die Magnetspulen treibt. Bei den Hauptstromdynamos
ufs dabei die äufsere Leitung geschlossen sein, bei den Nebenschlufs-
aschinen ist der äufsere Stromkreis offen, während nur die Magnet-
ulen eingeschaltet sind. Der anfänglich schwache Strom in den
regerspulen verstärkt das Magnetfeld, und damit findet eine Steige-
ng der E.M.K. statt. In dieser Weise wird der Magnetismus der
ldmagnete fortgesetzt verstärkt und damit werden die E.M.K. und
r Erregungsstrom gesteigert, bis die Magnete nahezu gesättigt sind,
d dann die normale E.M.K. der Dynamo erreicht ist.

Für den elektrischen Betrieb auf Schiffen haben die Hauptstromdynamos
ne Bedeutung, wir wenden uns daher sogleich zur Beschreibung der
namos mit Nebenschlufswickelung.

§ 41. Die Nebenschlufsdynamo. Bei dieser Dynamo sind
Magnetspulen M (Fig. 136) und der äufsere Widerstand w zwischen
n Polklemmen bezw. Bürsten parallel ge-
altet. Durch diese Anordnung wird das
gnetische Feld der Dynamo und damit
E.M.K. derselben in sehr viel geringerem
ade von den Schwankungen und Änderun-
n des Stromes im äufseren Widerstande
hängig als bei den Hauptstromdynamos.

Fig. 136.

Die Magnetspulen MM (Fig. 136) liegen
Nebenschlufs zum äufseren Widerstande
d bestehen aus vielen (bei mittleren Ma-
inen meist einigen Tausend) Windungen
nnen Kupferdrahtes. Die Magnetspulen haben daher an sich einen Wider-
nd, der erheblich gröfser ist als der äufsere Widerstand w. Meistens wird

auch durch einen zu den Magnetspulen in Serie geschalteten und regulierbaren Widerstand R_r (s. Fig. 138) der Widerstand des Nebenschlusses so weit erhöht, dafs auf Grund der im § 16 besprochenen Gesetze bei voller Leistung der Maschine nur etwa 2 bis 5 Proz. des vom Anker gelieferten Stromes in den Nebenschlufs, und der übrige Teil als **Nutzstrom** in den äufseren Widerstand fliefst, der meist aus parallel geschalteten Lampen, Motoren u. s. w. gebildet wird.

1. Verwendung und Verhalten der Nebenschlufsdynamos.

Die Nebenschlufsdynamos werden meistens für eine bestimmte Betriebsspannung (110 Volt, 220 Volt u. a.) gebaut. Sie eignen sich besonders zur Stromlieferung für parallel geschaltete Glühlampen (siehe Fig. 133), Bogenlampen und Motoren und haben daher in den weitaus meisten elektrischen Centralen Verwendung gefunden. Bei der Parallelschaltung der Lampen werden Hin- und Rückleitung über das ganze mit elektrischer Energie zu versorgende Gebiet nebeneinander hergeführt, und jede Glühlampe bezw. Motor wird an beide Leitungen angeschlossen. Die Wahl des Leitungsquerschnittes und der Leitungsanlage überhaupt ist dabei so getroffen, dafs der Spannungsverlust in der Leitung von der Dynamo bis zu irgend einer der parallel geschalteten Glühlampen nicht mehr als 2 bis 3 Proz. der Betriebsspannung ausmacht. Diesen Betrieb mit parallel geschalteten Lampen bezw. Motoren bezeichnen wir als **einen Betrieb mit konstanter Spannung.**

Besteht der äufsere Widerstand aus parallel geschalteten Lampen u. s. w., so ist er um so kleiner, je gröfser die Zahl der eingeschalteten Lampen ist (vergl. § 16 und Gleichung 16). Mit der Zahl der eingeschalteten Lampen wächst also die Stärke des von der Dynamo zu liefernden Stromes.

Dieses System der Verteilung der elektrischen Energie hat grofse Ähnlichkeit mit einem Druckrohrnetz mit zahlreichen Anschlüssen von hydraulischen Motoren. Die Abweichung besteht nur darin, dafs der Natur des elektrischen Stromes entsprechend jede Verbrauchsstelle elektrischer Energie nicht allein an eine Zuleitung des Stromes, sondern auch an eine gleich beschaffene Rückleitung angeschlossen ist.

In solchen Betrieben mit konstanter Spannung eignet sich die Nebenschlufsdynamo zur Stromlieferung, weil **bei konstanter Tourenzahl des Ankers die Polklemmenspannung nur wenig mit der Belastung oder mit der Stärke des Nutzstromes abnimmt.**

Vermehrt man die Zahl der parallel geschalteten Lampen, so wird durch den äufseren Widerstand der Ausgleich der Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen erleichtert, d. h. die Stromstärke in der äufseren Leitung nimmt zu, während gleichzeitig eine geringe Abnahme des Stromes im Nebenschlufs erfolgt (§ 16). Diese Abnahme des Stromes in den Magnetspulen hat aber eine Abnahme des Kraftlinienflusses Φ [vergl. Formel (29)] zur Folge.

Bei zunehmender Stromentnahme wird die E.M.K. er Nebenschlufsdynamo und damit auch die Klemmenpannung derselben etwas sinken. Diese Abnahme der E.M.K. ezw. der Klemmenspannung wird dadurch beseitigt, dafs man im ebenschlufs einen regulierbaren Widerstand — Nebenschlufsregutor R (Fig. 138) — mit den Magnetspulen hintereinander schaltet. er Widerstand des Nebenschlusses besteht also aus der Summe der Viderstände von Magnetspulen und Nebenschlufsregulator. Nimmt ie Klemmenspannung der Dynamo infolge einer Steigerung des Nutzromes ab, so wird am Nebenschlufsregulator so viel Widerstand auseschaltet, dafs der Strom in den Magnetspulen so weit anwächst, bis ie Polklemmenspannung ihren normalen Betrag wieder erreicht.

Werden dagegen im Netze Lampen ausgeschaltet, so nimmt der ufsere Widerstand zu und der Ausgleich der Polklemmenspannung n äufseren Widerstande wird erschwert; die Stromstärke im Nebenhlusse und damit auch die E.M.K. nehmen zu. Die Erhöhung er E.M.K. und der Klemmenspannung wird durch Vermehrung des n Nebenschlufsregulator eingeschalteten Widerstandes beseitigt.

Diese Änderungen des Nutzstromes haben immerhin geringe Ändengen des Stromes in den Magnetspulen zur Folge und damit auch eine Änderungen der E.M.K., wobei wir die Tourenzahl des Ankers s konstant voraussetzen wollen [siehe Gleichung (29)]. Der Spannungsrlust im Anker, d. h. die Differenz zwischen der E.M.K. und der lklemmenspannung ist um so gröfser, je mehr Strom der Anker fert. Wenn nun schon durch Steigerung des Nutzstromes die M.K. der Nebenschlufsdynamo etwas sinkt, so mufs dieses in noch ärkerem Grade mit der Klemmenspannung der Fall sein.

Ein weiterer Grund für die Abnahme der E.M.K. liegt darin, dafs r stromdurchflossene Anker selbst ein Feld (Ankerfeld, vergl. § 45) rvorbringt, welches das von den Magneten herrührende schwächt, d zwar um so mehr, je gröfser die Stromstärke in der Ankerwickeng ist.

Im Nachfolgenden wollen wir an einem speziellen Beispiel das rhalten der Nebenschlufsdynamo zeigen.

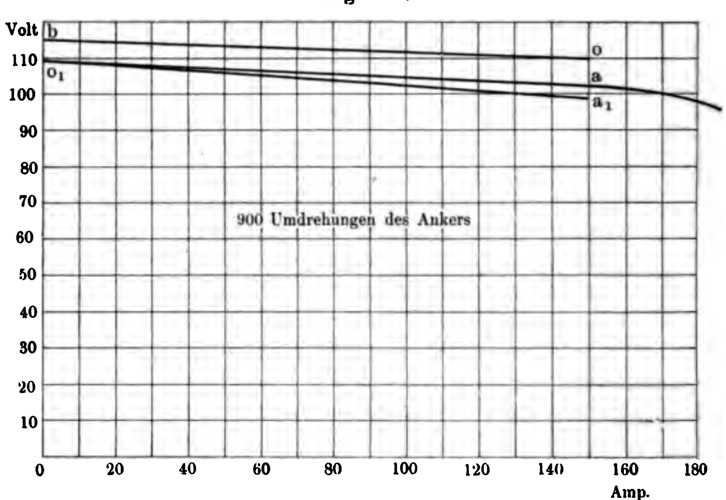
Die normale Leistung einer Nebenschlufsdynamo bei 900 Umdrehungen s Ankers in der Minute beträgt 16 500 Watt = 16,5 Kilowatt, während re Polklemmenspannung 110 Volt ist. Bei voller Belastung kann also diese aschine den Strom $\frac{16\,500}{110} = 150$ Amp. liefern. Der warme Anker hat ch mehrstündigem Betriebe den Widerstand 0,03 Ω.

1. Läuft die Dynamo leer, indem die äufsere Leitung ausgeschaltet , und macht der Anker 900 Umdrehungen in der Minute, während die aschine nur den Strom 5 Amp. für die Magnetspulen liefert, so ist die lklemmenspannung 110 Volt. Schaltet man jetzt die äufsere Leitung ein d vermehrt man allmählich die Zahl der Lampen und damit die Stromrke bis auf 150 Amp., so sinkt die Klemmenspannung längs der Geraden a (Fig. 137) gleichmäfsig auf den Betrag 102 Volt. Dabei bleibt die

Tourenzahl des Ankers unverändert = 900 pro Min. und durch den Nebenschlufsregulator wird der Strom in den Magnetspulen auf 5 Amp. gehalten. Die Abnahme der Klemmenspannung beträgt also 8 Volt, d. h. 7,27 Proz. der normalen Klemmenspannung.

2. Erhöht man jetzt den Strom in den Magnetspulen auf 5,7 Amp., so steigt bei 900 Umdrehungen pro Minute und bei 150 Amp. in der äufseren Leitung die Klemmenspannung wieder auf 110 Volt, d. h. die Leistung der Maschine ist durch den Punkt o, Fig. 137, dargestellt. Schaltet man dann

Fig. 137.



allmählich die Lampen in der äufseren Leitung aus, so steigt die Klemmenspannung längs ob an und erreicht den Betrag 116 Volt, wenn der Nutzstrom gleich Null geworden ist und der Anker nur den Strom 5,7 Amp. für die Magnetspulen gibt. Dabei soll auch hier die Stromstärke in den Magnetspulen konstant auf 5,7 Amp. gehalten werden.

3. Läfst man wie unter 1. die Maschine bei abgeschalteter äufserer Leitung und 5 Amp. Erregungsstrom leer laufen und belastet man die Maschine allmählich bis zu 150 Amp., während der Nebenschlufsregulator nicht zur Regulierung des Stromes gebraucht wird, so sinkt die Klemmenspannung bei 900 Umdrehungen des Ankers auf 99,8 Volt längs der Geraden $o_1 a_1$, d. h. die Abnahme der Klemmenspannung beträgt jetzt 10,2 Volt, d. h. 9,27 Proz. der normalen Klemmenspannung.

Dieses Beispiel ist einer bestimmten Dynamo entnommen, ähnliche Verhältnisse zeigen sich bei allen modernen Nebenschlufsmaschinen. Das Beispiel lehrt, dafs bei konstanter Tourenzahl des Ankers die Polklemmenspannung der Nebenschlufsdynamo langsam mit der Belastung abnimmt. Diese Abnahme der Klemmenspannung kann, wie die Zunahme derselben bei Entlastung, durch Regulieren des Nebenschlufswiderstandes beseitigt werden.

Wird die Stromstärke im Falle 1. noch über die normale Leistung von 150 Amp. hinaus gesteigert, so zeigt sich ein stärkerer Abfall der Klemmenspannung, wie dies auch in Fig. 137 angedeutet ist.

Die Linien $o_1 a$, $o_1 a_1$ u. s. w. (Fig. 137) geben bei konstanter Tourenzahl des Ankers die Beziehung zwischen Stromstärke und Polklemmen-

spannung. Für jeden Betrag des Stromes läfst sich in den drei genannten Fällen sogleich aus dem Diagramm die Nutzleistung der Maschine angeben. Die Linien, Fig. 137, haben also eine ähnliche Bedeutung für die Dynamomaschine wie das Indikatordiagramm für die Dampfmaschine, und sie werden als Charakteristiken bezeichnet.

Die Nebenschlufsdynamo wird meistens für eine bestimmte Polklemmenspannung (65, 110, 220, 440 Volt u. a.) gebaut. Der von dem Anker für den äufseren Stromkreis gelieferte Strom kann theoretisch beliebig hoch gesteigert werden. Dabei würde freilich in gleichem Mafse mit der Ankerstromstärke auch der Spannungsverlust im Anker und damit die Differenz zwischen E. M. K. und Polklemmenspannung wachsen. In Rücksicht auf diesen Spannungsverlust, insbesondere aber auf die Erwärmung der Ankerdrähte, ist auch für jede Dynamo eine bestimmte Stromstärke vorgeschrieben, die im Betriebe nur ausnahmsweise und nie dauernd sehr weit überschritten werden darf. Wird dem Anker ein Strom entnommen, dessen Stärke die vorgeschriebene Grenze überschreitet, so erreicht auch das vom Anker herrührende Magnetfeld eine Stärke, die erheblich das Feld der Magnete abschwächt und damit zur Verminderung der E. M. K. beiträgt (vergl. § 45).

Werden die von den Polklemmen der Nebenschlufsdynamo ausgehenden Leitungen „kurz geschlossen“, d. h. durch einen fast widerstandslosen Leiter miteinander verbunden, so sinkt die Stromstärke i_m im Nebenschlufs auf einen sehr geringen Betrag, so dafs die E. M. K. fast auf Null fällt, und damit die Dynamo also überhaupt stromlos wird. Immerhin ist ein solcher während des Betriebes eintretender Kurzschlufs nicht ungefährlich für die Maschine wegen der sehr starken Funkenbildung am Kollektor.

Da die Magnetspulen der Nebenschlufsdynamos eine sehr grofse Zahl Windungen enthalten, so ist die Selbstinduktion in ihnen sehr beträchtlich (siehe § 30). Die Selbstinduktion wirkt plötzlichen Änderungen des Stromes in den Magnetspulen entgegen und sucht also den magnetischen Kraftlinienflufs im Anker konstant zu halten, wenn durch Änderung der Tourenzahl u. s. w. die E. M. K. der Dynamo sich verändert oder wenn durch Änderung der Belastung die Stromverteilung in der Dynamo verändert wird. Die in diesen Fällen hervorgerufenen Änderungen des Stromes in den Magnetspulen treten also nicht plötzlich, sondern infolge der Selbstinduktion allmählich auf. Würde man die Magnetspulen einer Nebenschlufsdynamo, die leer oder unter Belastung läuft, ohne weiteres ausschalten, so entsteht meist ein sehr intensiver Öffnungsfunken, auch kann infolge der hohen Selbstinduktion die Isolation der Wickelung durchgeschlagen werden. Das Ausschalten des Nebenschlusses mufs also geschehen, nachdem die Stromstärke möglichst verringert ist, was mit dem Nebenschlufsregulator geschieht. Am besten ist es jedoch, den Öffnungsfunken

ganz durch den in § 128 erwähnten Anschlufs des Nebenschlufsregulators zu vermeiden.

2. Stromverhältnisse und Energiegleichung für die Nebenschlufsdynamo.

Die Bürsten der Nebenschlufsdynamo (Fig. 138) sind mit den Polklemmen durch starke Kabel oder Kupferstäbe verbunden, deren Widerstand so gering ist, dafs die Bürstenspannung E_b praktisch genommen gleich der Polklemmenspannung E_p ist. w stelle den äufseren Widerstand dar, der also in vielen Fällen aus parallel geschalteten Nutzwiderständen (Glühlampen, Bogenlampen, Motoren, Heizkörper u. s. w.) besteht, wozu noch der Widerstand der Leitungen aus Kupfer hinzukommt. i sei der Strom im äufseren Widerstande, d. h. die **Nutzstromstärke**, und w_m der Widerstand des Nebenschlusses, d. h. Magnetspulen + Regulierwiderstand R. Für den Erregungsstrom i_m haben wir

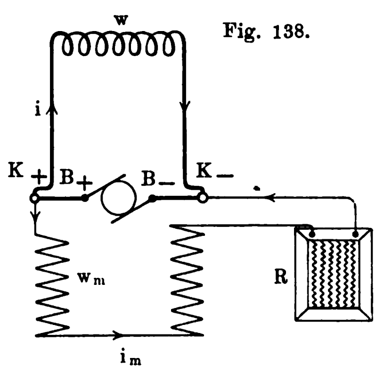


Fig. 138.

$$i_m = \frac{E_p}{w_m}. \tag{30}$$

Zwischen den Polklemmen sind Nebenschlufs und äufserer Widerstand w parallel geschaltet; der gesamte Widerstand zwischen den Polklemmen ist nach § 16, Beispiel 2 also $W = \frac{w \cdot w_m}{w + w_m}$. Die im Anker induzierte E. M. K. $= E$ ist gröfser als die Polklemmenspannung, und zwar um den Spannungsverlust im Anker, dessen Widerstand mit w_a bezeichnet werden soll. Der vom Anker gelieferte Strom ist $i_a = i + i_m$. Um diesen durch den Anker zu treiben, ist nach der Gleichung (9) die Spannung $i_a \cdot w_a$ erforderlich. Dieses Produkt stellt den Spannungsverlust im Anker dar und folglich ist

$$E = E_p + i_a \cdot w_a. \tag{31}$$

Der Ankerwiderstand der mittleren und grofsen Dynamos ist sehr klein, so dafs E und E_p sich nur um einige Volt voneinander unterscheiden. Bei Leerlauf, wo $i = 0$ ist und die Maschine nur den zur Erregung erforderlichen Strom i_m liefert, sind E und E_p praktisch einander gleich. Zur Verfügung steht uns nur E_p als Nutzspannung, welche direkt mit einem Voltmeter gemessen werden kann, während die E. M. K. nach Gleichung (31) berechnet wird.

Nach dem Ohmschen Gesetze haben wir

$$E = i_a \left(w_a + \frac{w \cdot w_m}{w + w_m} \right). \quad \text{2)}$$

Die Nutzleistung A_n der Dynamo ist durch das Produkt aus der olklemmenspannung und der Nutzstromstärke i gegeben.

$$A_n = E_p \cdot i \cdot \text{Watt}. \quad \text{3)}$$

In der Nebenschlufsdynamo, wie in allen anderen Gleichstrom-ynamos, treten folgende Verluste auf.

1. Der Energieverlust in den Erregerspulen $= i_m^2 \cdot w_m$ $= E_p \cdot i_m$ Watt. Diese Energiemenge wird pro Sekunde in Wärme ergl. § 17) verwandelt.

2. Der Energieverlust im Anker $= i_a^2 \cdot w_a \cdot$ Watt. Diese nergiemenge wird im Anker ebenfalls in Wärme verwandelt, wo-urch die Temperatur des Ankers im Laufe des Betriebes bis zu einer estimmten Grenze (vergl. § 109) ansteigt.

3. Verluste durch Wirbelströme. Nicht allein in der Anker-ickelung entstehen elektromotorische Kräfte und elektrische Ströme, ndern überhaupt in allen im Magnetfelde sich bewegenden Metall-assen (vergl. § 31).

Zur Beschränkung der Wirbelströme wird der Anker aus vielen senk-cht zur Welle gestellten und voneinander durch Papier isolierten Eisen-echen zusammengesetzt.

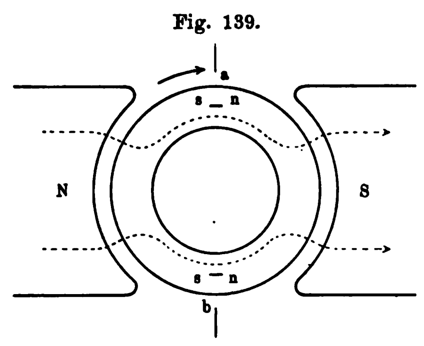
Bei der Drehung des Ankers werden auch im Eisen elektromotorische räfte induziert, die, wie in den Leitern auf der Oberfläche, in der zur Welle rallelen Richtung wirken. Den induzierten Strömen im Ankereisen, welche so im allgemeinen der Ankerachse parallel laufen, wird durch die Isolation r Ankerscheiben der Weg abgeschnitten; im massiven Anker würden die duzierten Ströme sehr geringen Widerstand finden und daher zu einem hr erheblichen Energieverlust Veranlassung geben (vergl. § 33). Um auch der Bewickelung des Ankers die Wirbelströme zu vermeiden, die ins-sondere bei Ankerleitern aus dicken und breiten Kupferstäben eintreten irden, ersetzt man den dicken Leiter durch mehrere dünnere und parallel legte Leiter, die auch den Vorzug haben, dafs sie leichter zu wickeln sind.

4. Verluste durch Hyseresis. Rotiert der Anker zwischen ei Polen, so werden seine beiden Hälften abwechselnd nord- und dmagnetisch; während jeder Umdrehung findet ein doppelter Wechsel r Pole des Ankers statt (vergl. § 4). Bei der Rotation des Ankers det eine fortgesetzte Umlagerung der Molekularmagnete statt, wo-rch ein Aufwand von Arbeit verursacht wird (vergl. § 24).

Während der Drehung des Ankers im magnetischen Felde der Pole rd jeder Teil des Ankers fortwährend ummagnetisiert. Die Molekular-gnete des Ankers haben in allen Lagen desselben das Bestreben, sich in Richtung der magnetischen Kraftlinien einzustellen. Betrachten wir einen lekularmagneten in der neutralen Zone bei a (Fig. 139), der durch den Kraft

linienflufs gerichtet ist und dessen Südpol dort liegt, wo die Kraftlinien eintreten. Ist das Teilchen nach *b* gekommen, so hat sich der Molekularmagnet um seinen Mittelpunkt um 180° gedreht, damit an seinem Südpole die Kraftlinien eintreten. Ist das Teilchen wieder bei *a* angekommen, so hat sich dasselbe nochmals um 180° gedreht und der ursprüngliche Zustand der Magnetisierung an jeder Stelle des Ringankers ist wieder erreicht. Die Magnetisierung des Ankers hat einen „Kreisprozefs" durchgemacht, von dem schon in § 24 die Rede gewesen ist. Zur Ausführung dieses Kreisprozesses ist ein Aufwand von Arbeit erforderlich. Da die Anker der elektrischen Maschinen aus bestem und weichstem Schmiedeeisen hergestellt werden, so ist der zum Ummagnetisieren des Ankers erforderliche Arbeitsaufwand immerhin nur gering.

Fig. 139.



5. Verluste durch Lagerzapfenreibung, Bürstenreibung und Luftwiderstand. Diese Verluste sind rein mechanischer Natur. Unter ihnen ist der weitaus bedeutendste der durch Lagerreibung.

Aufser diesen Verlusten, die in allen Dynamos auftreten, können auch solche vorkommen, die auf Fehler in der Konstruktion und Ausführung zurückzuführen sind. Dahin gehören:

a) Ungenügende Isolation oder Isolationsfehler in der Bewickelung.

b) Magnetischer Kurzschlufs bezw. Ableitung der Kraftlinien durch etwa den Polen benachbarte Eisenmassen.

c) Verluste, die durch zu heftige oder übermäfsige Funkenbildung am Kollektor auftreten.

Die Summe der unter 3. bis 5. genannten Verluste wollen wir mit L bezeichnen.

Wird dann von der Betriebsmaschine auf die Dynamo durch den Riemen oder bei direkter Kuppelung die Energie A Watt übertragen, so ergibt sich nach dem Satze von der Erhaltung der Energie

$$A = A_n + i_a^2 w_a + E_p \cdot i_m + L. \tag{34}$$

Diese Gleichung soll als Energiegleichung bezeichnet werden. $\frac{A}{736}$ ist die von der Betriebsmaschine auf die Dynamo übertragene Leistung in P.S. Der totale Wirkungsgrad η ist gleich dem Verhältnis $A_n : A$.

Moderne Dynamos von

	100	50	10	2	Kilowatt (K.W.) Nutzleistung
haben etwa $\eta =$	0,89	0,88	0,85	0,8	

d. h. bei einer Dynamo von 10 K.W. Nutzleistung erhält man pro P.S. der Antriebsleistung 0,85 . 736 = 625 Watt. Dynamos von 100 K.W. Nutzleistung

...m pro 1 P.S. Antrieb ...
1 P.S. Antrieb 600 W...

Spezielles Beispiel: ...
... gibt bei 900 Umdrehungen ...
...nnung $E_p = 120$ Volt ...
...nd des betriebswarmen Ankers ...
3,6 Amp. Die zum Antrieb der ...
P.S.

Für die E.M.K. der Maschine ...

$E = ...$

...r Widerstand des Nebenschlusses ...

Die Nutzleistung ...
... Anker beträgt

$i_a^2 \cdot w_a = 37.6^2 \cdot ...$

Der Energieverlust im Nebenschluss ...

$E_p \cdot i_n = 120 \cdot 3.4 = ...$

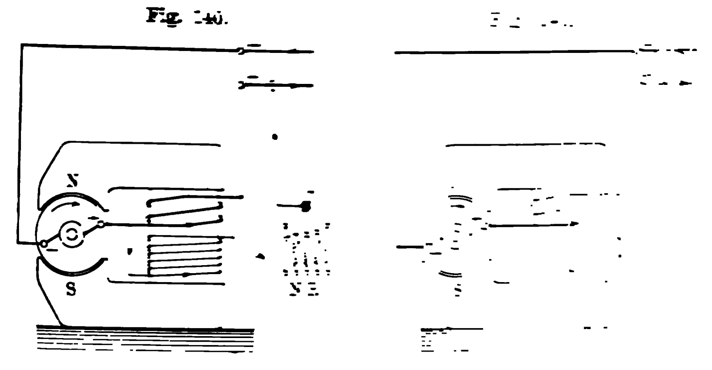
Der totale Wirkungsgrad ...

Die mit L bezeichneten ...

$L = ...$

§ 42. Die Kompound- ... Dynamos mit gemischter Bewickelung ... Dynamos). Die Magnete ...

Fig. 140.



...e doppelte Bewickelung und zwar ... Nebenschlufswickelung, welche in gleichem Sinne den ... Die Nebenschlufswickelung besteht aus sehr vielen Windungen ... hat grofsen Widerstand im Vergleich zur Hauptstromwickelung ... wenig Windungen eines dicken Kupferleiters enthält ... geführten Dynamos ist die Nebenschlufswickelung meist über der ...ptstromwickelung ausgeführt, während in Fig. 140 und 141 der ...rsicht wegen die beiden Bewickelungen nebeneinander auf dem ...enkel gezeichnet sind. Nach § 41 würde die Nebenschlufswickelung

allein bei steigender Stromstärke im äufseren Stromkreise einen geringen Abfall der Klemmenspannung geben; dagegen wird die Hauptstromwickelung, wenn sie allein wirken würde, eine Steigerung der Klemmenspannung veranlassen. Sind die Windungszahlen der Hauptstrom- und Nebenschlufswickelung im richtigen Verhältnis gewählt, so bleibt bei konstanter Umdrehungszahl des Ankers die Klemmenspannung ohne jede Regulierung fast konstant.

Ist die Wirkung der Hauptstromwickelung überwiegend, so steigt die Klemmenspannung mit wachsender Stromstärke im äufseren Widerstande, und die Dynamo heifst dann überkompoundiert. Wenn dagegen die Wirkung der Nebenschlufswickelung überwiegt, so nimmt die Klemmenspannung bei wachsender Belastung der Maschine ab und die Dynamo ist unterkompoundiert.

Die Kompounddynamo dient wie die Nebenschlufsdynamo zur Stromlieferung bei konstanter Spannung, also für den Betrieb parallel geschalteter Lampen oder Elektromotoren. Sie findet besonders Anwendung in kleineren Beleuchtungsanlagen, wo entweder eine ständige Beaufsichtigung wegen der damit verbundenen Kosten unterbleiben mufs oder das Bedienungspersonal ungeübt ist. Als Generatoren in Strafsenbahncentralen finden besonders die Kompounddynamos Verwendung, weil je nach der Zahl und dem Stromverbrauch der in Betrieb gesetzten Motorwagen die der Maschine entnommene Stromstärke stark wechselt, wobei doch die Netzspannung möglichst konstant sein soll. Ebenso empfiehlt sich an Bord von Schiffen, wo zahlreiche Elektromotoren mit intermittierendem Betriebe vorhanden sind, die Aufstellung einer Doppelschlufsmaschine, weil der Wechsel der Stromstärke so rasch ist, dafs die Regulierung der Spannung von Hand nicht erfolgen kann.

Selbst wenn auch die Nebenschlufsdynamos mit einem automatisch regulierenden Nebenschlufswiderstand versehen werden, wie dies häufig bei Anlagen an Land geschieht, so sind sie doch weniger für rasch wechselnde Stromlieferung geeignet als die Kompounddynamos, weil der automatische Regulator nicht den oft sehr schnellen Änderungen des Stromes bei Motorenbetrieb folgen kann.

Infolge der Erwärmung des Ankers und der Magnetspulen (vergl. S. 24) sinkt die Spannung unter ihren Anfangswert. Während des Betriebes nimmt die Temperatur des Ankers und der Erregungsspulen langsam bis zu einem bestimmten Endwerte (vergl. § 17) zu. Man legt daher in den Nebenschlufs einen regulierbaren Widerstand, der unter Beobachtung des Spannungsmessers so eingestellt wird, dafs die Polklemmenspannung konstant bleibt.

Über die Verluste in den Doppelschlufsmaschinen gilt das bei den Nebenschlufsdynamos Besprochene, wobei noch der Energieverlust in der Hauptstromwickelung des Feldmagneten zu berücksichtigen ist.

Um einen Einblick in die Strom- und Energieverteilung in den modernen Kompounddynamos zu geben, seien folgende Beispiele mitgeteilt:

1. Eine Doppelschlufsmaschine gibt die Polklemmenspannung 120 Volt und liefert bei voller Belastung die Nutzstromstärke $i = 60$ Amp. Der Widerstand des Nebenschlusses ist $w_m = 40\,\Omega$, der der Hauptstromwicke-

ung $w_d = 0{,}01\ \Omega$ und der Widerstand des Ankers $w_a = 0{,}08\ \Omega$. Die Widerstände haben den angegebenen Betrag nach einem mehrstündigen Betriebe. Die Nebenschlufswickelung ist dem äufseren Widerstande parallel geschaltet (vergl. Fig. 141). Die Stromstärke im Nebenschlufs ist $i_m = \frac{120}{40} = 3$ Amp. und damit ist der aus dem Anker durch die Hauptstromwickelung fliefsende Strom $i_a = 60 + 3 = 63$ Amp.

Der Energieverlust durch Stromwärme in der Nebenschlufswickelung ist $i_m^2 \cdot w_m = 360$ Watt, d. h. 5 Proz. der Nutzleistung.

Der Energieverlust in der Ankerwickelung ist $i_a^2 \cdot w_a = 317{,}5$ Watt, d. h. 4,4 Proz. der Nutzleistung.

Der Energieverlust in der Hauptstromwickelung $= i_a^2 \cdot w_d = 39{,}7$ Watt, d. h. 0,55 Proz. der Nutzleistung.

Die Bürstenspannung ist $E_b = E + i_a \cdot w_d = 120{,}6$ Volt, dagegen die E.M.K. $= E = E_p + i_a(w_d + w_a) = 125{,}67$ Volt.

Wäre der totale Wirkungsgrad der Dynamo $= 0{,}85$, so würden zum Antriebe derselben $\frac{A_n}{\eta}$ Watt $= \frac{7200}{0{,}85 \cdot 736}$ P.S. $= 11{,}5$ P.S. erforderlich sein. Unter Anwendung der früher gebrauchten Bezeichnung ergibt sich die Energiegleichung

$$A = A_n + i_a^2 (w_a + w_d) + i_m^2 \cdot w_m + L.$$

Im vorliegenden Falle wäre $L = 563$ Watt.

2. Eine Doppelschlufsmaschine gibt bei 100 Volt Polklemmenspannung und voller Belastung den Nutzstrom 120 Amp. Nach mehrstündigem Betriebe ist der Widerstand der Nebenschlufswickelung $w_m = 25{,}6\ \Omega$, der des Ankers $w_a = 0{,}042\ \Omega$ und der der Hauptstromwickelung $w_d = 0{,}008\ \Omega$. Bei dieser Maschine ist die Nebenschlufswickelung zwischen den Bürsten eingeschaltet (vergl. Fig. 140).

Die Bürstenspannung ist $E_b = E_p + i w_d = 101$ Volt. Die Stromstärke in der Nebenschlufswickelung ist $i_m = \frac{101}{25{,}6} = 3{,}94$ Amp. Die Stromstärke im Anker $= 123{,}9$ Amp.

Der Energieverlust in der Ankerwickelung ist $\overline{123{,}9}^2 \cdot 0{,}042 = 652{,}2$ Watt.
" " " " Nebenschlufswickelung ist $3{,}94 \cdot 101 = 398$ "
" " " " Hauptstromwickelung ist $120^2 \cdot 0{,}008 = 115{,}2$ W.

Die Nutzleistung der Maschine ist $A_n = 100 \cdot 120 = 12$ K.W.

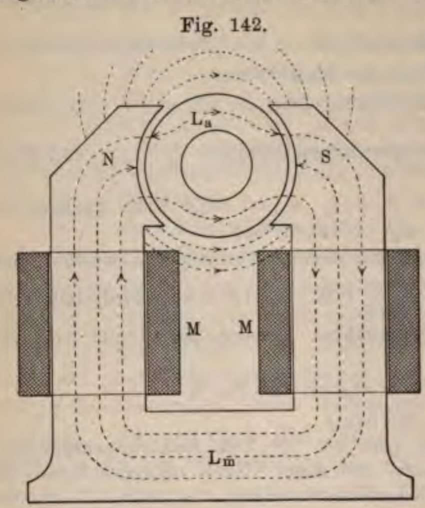
Würde die bei voller Belastung von der Betriebsmaschine auf die Dynamo übertragene Leistung $A = 19{,}5$ P.S. sein, so wäre der totale Wirkungsgrad $= 0{,}836$. $L = 1194$ Watt.

§ 43. Der Feldmagnet und der magnetische Kreis der Dynamo. Eine sehr gebräuchliche Form des Feldmagneten, der sogenannte Hufeisentypus, ist bereits in Fig. 62 dargestellt. Wie schon in § 23 hervorgehoben ist, wächst die Stärke des magnetischen Feldes im Luftzwischenraume mit der magnetomotorischen Kraft der Magnetspulen M, und sie ist um so gröfser, je kleiner der magnetische Widerstand des Kreises ist. (Fig. 142.)

Um den letzteren möglichst klein zu halten, werden die Kerne der Spulen mit dem Fufsgestell meistens aus einem Stück hergestellt. Selbst bei der saubersten Bearbeitung der Berührungsflächen zweier Teile, wie

des Kernes mit dem Polschuh, die durch Verschraubungen zusammengehalten werden, wird der magnetische Widerstand merklich erhöht. Man gibt überhaupt dem Feldmagneten eine kurze und gedrungene Form. Da der Luftraum zwischen Anker und Polschuh erheblichen magnetischen Widerstand bietet, so wählt man den am Ankerumfang gemessenen Querschnitt des Luftzwischenraumes möglichst grofs. Die gegenüberliegenden Ecken der Polschuhe müssen dabei genügenden Abstand haben, damit nicht der Übergang der Kraftlinien aufserhalb des Ankers, die sogenannte Streuung, begünstigt wird.

Fig. 142.



Die magnetische Permeabilität des Gufseisens ist weit geringer, als die der übrigen Eisensorten (vergl. § 22). Flufseisen wird bei derselben erregenden Kraft fast ebenso stark magnetisiert wie Schmiedeeisen. Dynamos mit Feldmagneten aus Gufseisen fallen schwer aus und erfordern Magnetspulen mit grofsem Kupfergewicht. In allen Fällen, wo es auf geringes Gewicht und geringen Raumbedarf für die Dynamos und Elektromotoren ankommt, wie bei den elektrischen Maschinen an Bord, bei den Motoren für Strafsenbahnwagen u. s. w., verwendet man fast ausschliefslich die Stahlgufs-Magnetgestelle, die bei halbem Querschnitt und Gewicht magnetisch dasselbe leisten wie die gufseisernen.

In vielen Fällen wählt man auch die Grundplatte, welche zugleich das die Magnetkerne verbindende Joch bildet, aus Gufseisen und vereinigt dann schon im Gufs damit die aus Schmiedeeisen oder Stahlgufs hergestellten Kerne der Feldmagnete. Bei dieser Anordnung erhalten die Kerne verhältnismäfsig geringen Querschnitt, und das Kupfergewicht der Magnetspulen ist klein. Bei mehrpoligen Maschinen wählt man auch den äufseren Kranz aus Gufseisen, während die die Magnetspulen tragenden Polstücke mit den Polschuhen aus Stahlgufs hergestellt werden.

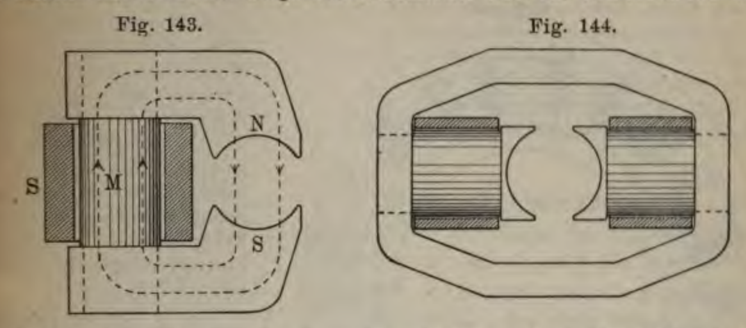
Bei der Wahl der Magnetform ist zu beachten, dafs die Magnetspulen bequem aufgebracht werden können, und dafs der Kraftlinienweg einfach und kurz ist. Die Bewickelung der Magnete wird auf Spulen aus Isoliermaterial ausgeführt, und die Spulen werden über die Kerne der Feldmagnete geschoben.

Insbesondere an den Polschuhen sind alle scharfen Kanten und Ecken zu vermeiden, weil durch diese die Streuung begünstigt wird.

Wir unterscheiden zweipolige und mehrpolige Magnetsysteme.

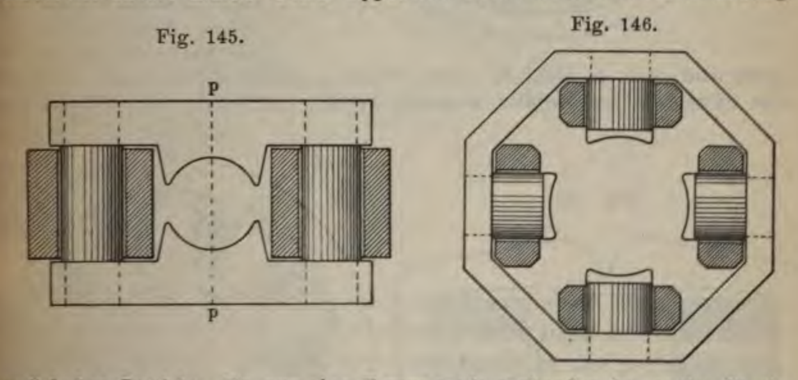
Bei der grofsen Zahl der Formen der zweipoligen Magnetsysteme wollen wir nur einige sehr gebräuchliche hervorheben. Dazu gehört der in Fig. 143 dargestellte Typus. Entweder besteht der Kern *M* aus Schmiedeeisen und die beiden aus Gufseisen hergestellten Polstücke sind auf denselben schwach

Fig. 143. Fig. 144.



konisch aufgesetzt, oder der Kern ist mit einem der beiden Polstücke in einem Stück gegossen und nur das andere Polstück ist aufgesetzt. In Bezug auf die Verbindungslinie der Pole ist die Verteilung der Kraftlinien etwas ungleich, indem durch die dem Kerne näherliegende Ankerhälfte des kürzeren Schlusses wegen eine etwas gröfsere Zahl Kraftlinien den Weg nimmt als durch die andere Hälfte. Dieser Typus hat meist starke Kraftlinienstreuung

Fig. 145. Fig. 146.



und hohes Gewicht. Da nur eine Erregerspule vorhanden ist, so ist die abkühlende Oberfläche derselben meist etwas zu klein in Rücksicht auf die in der Spule in Wärme verwandelte elektrische Energie.

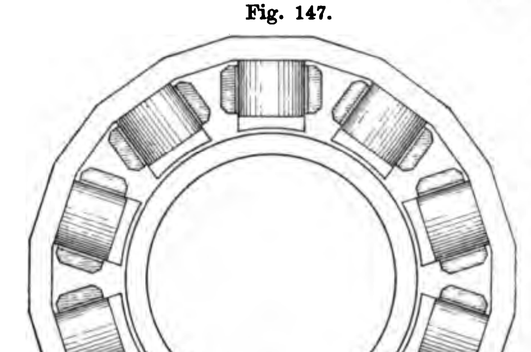
Bei dem durch Fig. 142 dargestellten Hufeisentypus haben wir einen einfachen magnetischen Kreis bei zwei Magnetspulen, wodurch die abkühlende Oberfläche vergröfsert wird. Der Typus Fig. 142 zeichnet sich durch geringes Gewicht aus; das Kupfergewicht der Magnetspulen ist gering. Die Querschnitte der Kerne können oval, kreisförmig oder rechteckig sein.

Fig. 144 stellt ein Magnetsystem mit zweifachem magnetischen Kreis dar. Der durch die beiden Erregerspulen hervorgerufene Kraftlinienstrom verzweigt sich in zwei Zweige, von denen der eine sich oberhalb, der andere sich unterhalb des Ankers schliefst. Die Magnetgestelle dieses Typus haben meist grofses Gewicht, brauchen jedoch nur geringes Kupfergewicht in den

Magnetspulen und bei ihnen ist die Kraftlinienstreuung klein. Das Magnetgestell wird aus einem Stücke gegossen und meist ohne besondere Polschuhe verwendet.

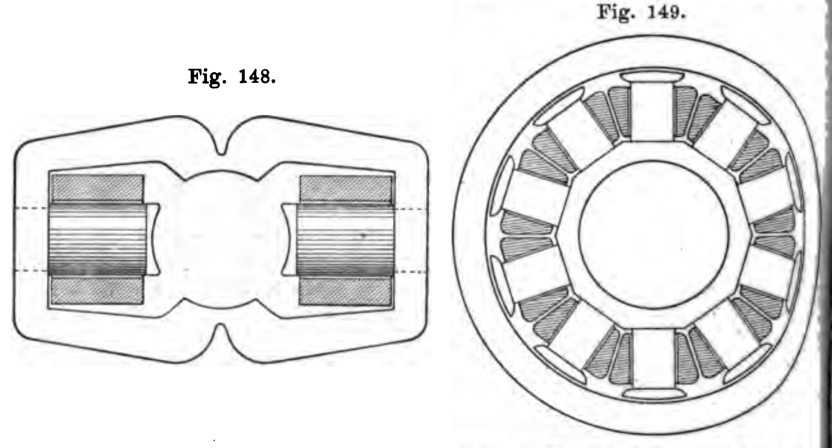
Fig. 145 zeigt den Manchestertypus, der als eine Verdoppelung des Typus Fig. 143 betrachtet werden kann. Auch hier sind zwei getrennte magnetische Kreise vorhanden, indem durch jeden der beiden Magnetkerne nur die Hälfte des Kraftlinienflusses geht, der im Anker vorhanden ist. Das Magnetfeld ist in Bezug auf die Linie *pp* völlig symmetrisch. Diese nach dem Manchestertypus hergestellten Magnete fallen schwer aus, gebrauchen jedoch wenig Kupfer in den Erregerspulen. Die Kraftlinienstreuung ist meist beträchtlich.

Fig. 147.



In Fig. 146 bis 148 sind mehrpolige Magnetsysteme dargestellt. Fig. 146 kann als eine Verdoppelung des Typus Fig. 144 betrachtet werden. Fig. 147 zeigt eine zehnpolige Maschine desselben Typus. Wenn der Magnet bei diesen Maschinen so groſs wird, daſs er nicht in einem Stücke gegossen werden kann, so wird das System in horizontaler Richtung geteilt, und beide Teile werden mit Flanschen verschraubt. Bei den mehrpoligen Magnetsystemen tritt nicht die groſse Mannigfaltigkeit der Formen hervor wie bei den zweipoligen Magnetsystemen. In allen Fällen folgen um den Anker herum abwechselnd Nordpole und Südpole. Jeder Pol trägt seine Erregerspule.

Fig. 148. Fig. 149.



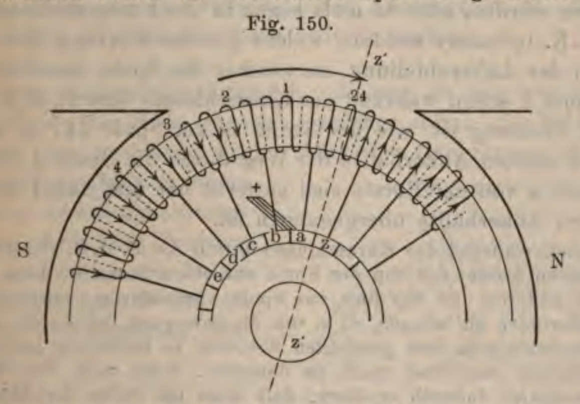
Besonders der Raumersparnis wegen wird die vierpolige Type Fig. 148

ır Motoren in Kränen und Strafsenbahnwagen verwendet. Bei diesem ystem sind vier magnetische Kreise vorhanden; je zwei derselben gehen urch den Kern derselben Spule (Folgepole).

Bei allen bisher betrachteten Systemen liegen die Magnetpole aufser- alb des Ankers. Maschinen dieser Art heifsen Aufsenpolmaschinen. lei den Innenpolmaschinen (Fig. 149) fällt das Magnetsystem leichter us als bei den Aufsenpolmaschinen gleicher Leistung. Jedoch bietet die Be- estigung des Ankers auf der Welle Schwierigkeiten, da der Ankerkern von er Seite durch den Ankerstern gefafst werden mufs. Auch bei den Innen- olmaschinen steht der Feldmagnet fest. Der Anker ist als Ring hergestellt, obei die wirksamen Drähte an der Innenseite des Ankers liegen. Die rähte, bezw. Stäbe an der Aufsenseite dienen gleichzeitig als Kollektor ergl. Fig. 96).

§ 44. Einstellung der Bürsten, Funkenbildung am Kol- ektor. Bei der Besprechung der Ankerwickelungen ist mehrfach darauf ingewiesen, dafs während der Drehung des Ankers die Spulen des- elben nacheinander durch die Bürsten kurz geschlossen werden, indem ie Bürste gleichzeitig die beiden Lamellen eine sehr kurze Zeit be- eckt, zwischen denen die betrachtete Spule eingeschaltet ist. In

Fig. 150.



ig. 150 ist die Stellung des Ringankers dargestellt, in welcher die pule 1, welche zwischen den Lamellen a und b liegt, durch die Bürste ırzgeschlossen ist. Die Bürsten liegen dabei in der neutralen Zone ıf. Auf der einen Seite der neutralen Zone treten die Kraftlinien den Anker ein, auf der anderen Seite treten sie aus ihm heraus. er aus der +-Bürste tretende Strom setzt sich aus den beiden von n Ringankerhälften gelieferten Strömen zusammen, die einander eich sind. Die Ströme in den Spulen 2 und 24 umfliefsen den Anker entgegengesetzten Richtungen. Geht also eine Spule aus der Stellung in die Stellung der Spule 24 über, so mufs während der sehr kurzen uer dieses Überganges die Umkehrung der Stromrichtung vollzogen erden. In dem Augenblicke, wo die Spule kurz geschlossen wird, hört sie weder der rechten noch der linken Ankerhälfte an, und iner der beiden Zweigströme des Ankers fliefst durch dieselbe. Beim

Kurzschlufs wird aber die Spule nicht plötzlich stromlos, sondern infolge der Selbstinduktion wird ein Strom auftreten, der mit demjenigen gleiche Richtung hat, der kurz vorher noch durch die Spule flofs. Da der Kurzschlufs nur sehr kurze Zeit dauert, so ist der Selbstinduktionsstrom in 1 noch im Flufs, wenn die Lamelle *a* die Bürste verlassen will. Solange in 1 die E.M.K. der Selbstinduktion wirksam ist, welche entgegengesetzt wirkt wie der Strom in der rechten Ankerhälfte, ist die Spule 1 auch noch nicht „offen“ für den Strom der rechten Ankerhälfte. Im Augenblick also, wo die Lamelle *a* die Bürste verläfst, steht dem aus der rechten Ankerhälfte kommenden Strome noch nicht der Weg durch die auf diese Hälfte übertretende Spule 1 offen, und infolgedessen schlägt sich der Strom aus dieser Ankerhälfte in Gestalt eines Funkens eine Brücke über die Isolationsschicht zwischen den Lamellen *a* und *b*.

Um diese Funkenbildung zu vermeiden, durch welche der Kollektor sehr bald rauh und stark abgenutzt wird, mufs die während des Kurzschlusses auftretende E.M.K. der Selbstinduktion möglichst aufgehoben werden, oder es mufs sogar in der kurzgeschlossenen Spule eine E.M.K. induziert werden, welche gleiche Richtung hat mit dem Strome in der Ankerabteilung, zu welcher die Spule übertritt. Wirkt in der Spule 1 schon während des Kurzschlusses eine E.M.K., die von derselben Richtung ist wie der Strom in der Spule 24, so steht dem Strom der rechten Ankerhälfte der Weg durch die Spule 1 offen, wenn die Lamelle *a* von der Bürste sich entfernt hat und damit die Spule 1 zur rechten Ankerhälfte übergegangen ist.

Um den während des Kurzschlusses durch die E.M.K. der Selbstinduktion erzeugten Strom, der von der Spule zur einen Lamelle, dann durch die Bürste zur anderen und von hier zur Spule zurückfliefst, möglichst schnell zum Verschwinden zu bringen, d. h. um die Bewegung der durch die E.M.K. der Selbstinduktion in dem genannten Kreislauf in Bewegung gesetzten elektrischen Massen möglichst rasch zu dämpfen, kann man den Widerstand dieses Kreislaufes dadurch erhöhen, dafs man an Stelle der Metallbürsten harte Kohlebürsten anwendet.

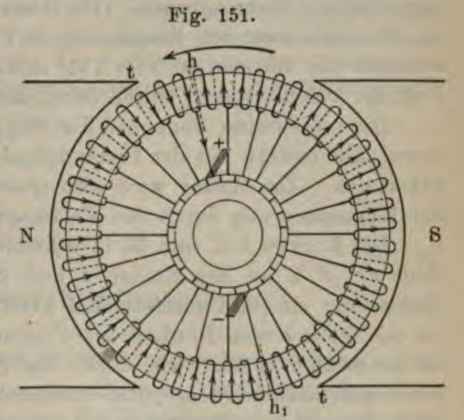
Besonders bei gröfseren Maschinen werden oft zur Erhöhung des Widerstandes im Schliefsungskreise, in welchem die E. M. K. der Selbstinduktion wirkt, die radialen Verbindungsstücke zwischen den Kollektorlamellen und den Spulen aus verhältnismäfsig dünnem Draht hergestellt. Beim Kurzschlufs der Spule mufs der durch die E.M.K. der Selbstinduktion hervorgerufene Strom zwei solche radiale Verbindungsstücke durchlaufen, und er sinkt dadurch schnell auf eine geringe Stärke. Eine übermäfsige Erwärmung zeigen dabei die radialen Verbindungsstücke nicht, weil sie einmal einer guten Ventilation ausgesetzt sind und ferner nicht den vom Anker gelieferten Strom dauernd leiten, sondern nur in dem Augenblicke, in welchem die an sie angeschlossene Kollektorlamelle unter der Bürste durchgeht.

Das wirksamste Mittel zur Vermeidung der Funkenbildung während des Kurzschlusses bleibt jedoch, durch passende Einstellung der Bürsten den Kurzschlufs an einer Stelle stattfinden zu lassen, wo die Spule bereits wieder Kraftlinien schneidet, wobei eine E.M.K. indu-

ziert wird, welche nicht allein die E.M.K. der Selbstinduktion aufhebt, sondern gröfser ist als letztere und also bereits einen Strom hervorbringt, der gleiche Richtung mit dem Strome der Ankerhälfte hat, zu welcher die Spule übertritt. Wir legen also die Bürsten nicht in der neutralen Zone auf, sondern verschieben diese Auflagerpunkte im Sinne der Drehbewegung des Ankers, so dafs an der +-Bürste die Spulen kurzgeschlossen werden, in dem Augenblicke, wo sie die Lage der in Fig. 150 bezeichneten Spule 24 einnehmen. Erfolgt der Kurzschlufs an zwei Punkten des Durchmessers $z z'$, so schneiden die Windungen der Spulen bereits wieder Kraftlinien, und die deshalb in ihnen induzierte E.M.K. hat gleiche Richtung mit dem Strome in den in der Drehungsrichtung folgenden Spulen, jedoch entgegengesetzte Richtung mit der E.M.K. der Selbstinduktion, welche gleiche Richtung mit dem Ankerstrome der linken Ringankerhälfte hat. Je gröfser die E.M.K. der Selbstinduktion der Spulen, desto weiter mufs der Durchmesser $z' z'$ im Sinne der Drehbewegung des Ankers gedreht werden. Die Selbstinduktion ist proportional dem Quadrate der Windungszahl (vergl. § 63). Je gröfser also die Windungszahl der Ankerspulen ist, desto weiter mufs $z z'$ aus der neutralen Zone gedreht werden.

§ 45. **Ankerrückwirkung.** Bislang ist nur von dem magnetischen Felde die Rede gewesen, welches durch die Pole des Feldmagneten hervorgebracht wird. Aber der vom Strome durchflossene Anker wird ebenfalls zu einem Magneten und erzeugt ein magnetisches Kraftfeld, welches freilich in den meisten Fällen erheblich schwächer ist als das vom Feldmagneten herrührende.

Fig. 151.

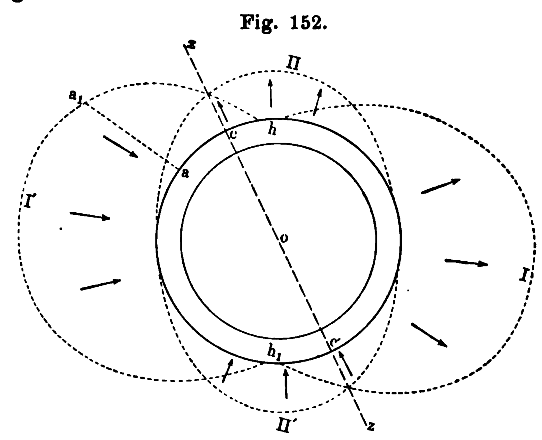


In Fig. 151 ist ein zweipoliger Ringanker dargestellt, und die Auflagerstellen der Bürsten sind in der Drehungsrichtung zur Vernichtung der Selbstinduktion in den Spulen verschoben. Wir setzen voraus, dafs der Anker Strom liefert. Wird durch Schnitte bei h und h_1 der Anker in zwei Hälften zerlegt gedacht, so erhalten wir zwei Elektromagnete, die gemeinsam ihre Nordpole bei h, dagegen ihre Südpole bei h_1 haben. Die vom Strome durchflossene Wickelung magnetisiert also den Ankerkern so, dafs bei a ein Nordpol und bei b ein Südpol entsteht.

In Fig. 152 wollen wir graphisch die Zahl der Kraftlinien darstellen, welche an jeder Stelle der Aufsenfläche des Ankers ein- oder

austreten. Die Pfeile geben die Richtung der Kraftlinien an. Die Strecke aa_1 des vom Mittelpunkt aus gezogenen Strahles oa_1 soll die Zahl der Kraftlinien darstellen, welche vom Nordpole des Magneten pro Quadratcentimeter an der Stelle a in den Anker treten. Wir erhalten nach dem vorigen im ganzen vier Kurven. Die Kurven I und I′ stellen für jede Stelle der Ankeroberfläche die Zahl der ein- bezw. austretenden Kraftlinien pro Quadratcentimeter dar. Die Kurven II geben die Zahl der ein- und austretenden Kraftlinien an, welche durch die vom Strome durchflossene Wickelung des Ankers hervorgebracht werden. Dabei treten an den Polen h und h_1 des Ringankers die meisten Kraftlinien aus; die Dichte derselben nimmt von den Polen aus nach beiden Seiten bis zur indifferenten Zone in gleicher Weise ab wie bei dem in Fig. 4 dargestellten Stabmagneten. Die Darstellung in Fig. 152 entspricht den Verhältnissen des Ringankers in Fig. 151. Der Durchmesser, in welchem die Bürsten in Fig. 151 aufliegen, bestimmt die Lage der Pole des Ankers, welche durch den Ankerstrom hervorgebracht werden.

Fig. 152.



Die indifferente Zone bei der Magnetisierung durch den Ankerstrom fällt nahezu mit der Verbindungslinie der Pole des Feldmagneten zusammen. Der Anker wird also quermagnetisiert zu der Richtung der Magnetisierung durch den Feldmagneten.

Die Kurven I, I′ und II, II′ schneiden sich an vier Stellen. In der Zone zz, d. h. an den Stellen c und c' der Ankeroberfläche ist die Summe der ein- und austretenden Kraftlinien gleich Null, indem z. B. an der Stelle c vom Nordpol des Feldmagneten ebenso viel Kraftlinien in den Anker treten, wie durch die Ankerwickelung aus demselben herausgetrieben werden. Die wirkliche neutrale Zone zz des Ankers fällt also mit dem Durchmesser cc' zusammen. **Die neutrale Zone liegt nicht zur Pollinie des Feldmagneten senkrecht, sondern wird im Sinne der Drehung des Ankers aus dieser Stellung verschoben, und zwar um so mehr, je stärker der Strom in der Ankerwickelung ist.**

Die Kurven II und II′ geben die Stärke des sogenannten **Ankerfeldes** an, welche mit den Ampèrewindungen auf dem Anker wächst. Ist der Anker stromlos, so fallen die Kurven II und II′ fort und die

neutrale Zone des Ankers, in welcher die in den Ankerleiter induzierte E. M. K. gleich Null ist, fällt in die Richtung hh. Je stärker der Ankerstrom, desto höher erheben sich die Kurven II und II′ über die Ankeroberfläche; desto gröſser ist auch der Winkel zwischen der neutralen Zone zz und dem Durchmesser hh_1.

Da die Bürsten auf denjenigen Lamellen aufliegen sollen, die direkt mit den Ankerleitern verbunden sind, welche die neutrale Zone passieren, so müssen die Auflagerpunkte der Bürsten in der Richtung der Drehung des Ankers um einen bestimmten Betrag aus dem Durchmesser hh_1 (Fig. 152) verschoben werden, um zwar um so mehr, je gröſser die Stromstärke im Anker ist. Nimmt man hinzu noch die Bürstenverschiebung, welche zur Vernichtung der Selbstinduktion in den Ankerspulen gefordert wird, so ergibt sich, daſs bei der normalen Ankerstromstärke an zweipoligen Maschinen die Bürsten meist so weit verschoben werden, daſs ihre Auflagerpunkte auf einem Durchmesser liegen, der mit der Verbindungslinie der Polecken $t - t$, Fig. 151, zusammenfällt.

Der Verschiebung der Bürsten aus der neutralen Zone ist beim Ringanker weit gröſser als beim Trommelanker. Streng genommen muſs bei jeder Änderung der Stromstärke eine Veränderung der Bürstenstellung vorgenommen werden, damit die Funkenbildung am Kollektor unterbleibt.

Im Anschluſs an die Fig. 151 und 152 weisen wir darauf hin, daſs bei den diametral liegenden Polen des stromdurchflossenen Ringankers auch innerhalb desselben ein Magnetfeld entsteht, dessen Kraftlinien dem Durchmesser annähernd parallel laufen, der die Auflagerpunkte der Bürsten verbindet. Wir erhalten also im Innern des Ringankers ein stehendes Magnetfeld (vergl. § 37).

Sechstes Kapitel.

Die Gleichstrom-Elektromotoren.

§ 46. Wirkungsweise und Grundgesetze der Motoren. Der Elektromotor ist die Umkehrung der Dynamo; er verbraucht elektrische Energie und liefert an seiner Welle mechanische Energie zum Betriebe von Winden, Werkzeugmaschinen, Ventilatoren, Pumpen, Eismaschinen u. s. w.

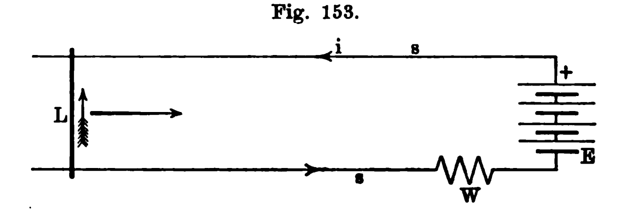
Jede Dynamo kann auch als Motor verwendet werden, und in den meisten Fällen kann auch ein Elektromotor zur Stromerzeugung, also als Generator, benutzt werden. Trotzdem kann eine elektrische Maschine, und dies gilt besonders für solche mit geringen Leistungen, als Motor einen günstigeren Wirkungsgrad haben, als sie als Dynamo zeigt. Umgekehrt kann eine vortreffliche Dynamo nur einen weniger guten Motor abgeben. Die

Erfahrung hat gezeigt, dafs gewisse Einzelheiten der Konstruktion sich ändern, je nachdem die Maschine als Generator oder als Motor dienen soll. Der Aufbau des Motors ist im allgemeinen derselbe wie der der Dynamo. Als Hauptteile des Motors haben wir demnach 1. den Feldmagneten, 2. den Anker mit der Wickelung und den Kollektor. Der Anker befindet sich im Felde zwischen den Polen des Magneten und kann als Ring- oder Trommelanker nach den in § 33 u. s. f. beschriebenen Wickelungen ausgeführt sein.

Die Wirkungsweise des Elektromotors beruht auf der Wirkung des magnetischen Feldes auf die Ankerdrähte, durch welche ein elektrischer Strom von einer Dynamo (Generator) oder einem Akkumulator fliefst. Die Triebkraft des Elektromotors ist also eine elektromagnetische.

Wir betrachten zunächst folgenden einfachen Versuch (Fig. 153). Die beiden Kupferschienen ss, auf denen das Gleitstück L beweglich ist, sind mit der Stromquelle, deren E.M.K. $= E$ ist, verbunden.

Fig. 153.



Der eingeschaltete Widerstand W wird so gewählt, dafs der Strom eine passende Stärke erhält. Ist der Widerstand des ganzen Schliefsungskreises w, so ist die Stromstärke im Gleitstücke $i = \frac{E}{w}$. Die Fläche, in welcher ss und L liegen, sei senkrecht zu den Kraftlinien eines gleichförmigen magnetischen Feldes, dessen Stärke H sei. Wir nehmen an, dafs die Kraftlinien von vorne durch die Ebene der Zeichnung hindurchgehen. Dann wird auf das Gleitstück nach § 19 die Kraft

$$K = \frac{i \cdot L \cdot H}{9810000} \text{ kg}$$

ausgeübt. Durch die Kraft K wird der Leiter L in Fig. 153 auf den Schienen von rechts nach links bewegt.

Fig. 154 stellt einen Ringanker in einem zweipoligen Felde dar. Die Bürsten sind fest, liegen in der neutralen Zone am Umfange des Ankers auf und sind durch die Polklemmen KK mit einer Stromquelle, etwa einer Akkumulatorenbatterie, verbunden, so dafs zwischen den Polklemmen bezw. Bürsten die konstante Spannung E_p vorhanden ist. An der $+$-Bürste teilt sich der Strom i, und durch jede der beiden Ringankerhälften, die durch die neutrale Zone entstehen, fliefst der Strom $i/2$. In Fig. 154 sind in den Ankerdrähten auf der Aufsenseite des Ankers, rechts von der neutralen Zone, die Ströme nach dem Beschauer hin gerichtet, dagegen links von der neutralen Zone

von ihm fort gerichtet. Die Kraftlinien gehen vom Nordpol durch den Ankerkern zum Südpol über und haben im Luftzwischenraum nahezu einen radialen Verlauf, d. h. sie sind senkrecht zur Ankeroberfläche.

Fig. 154.

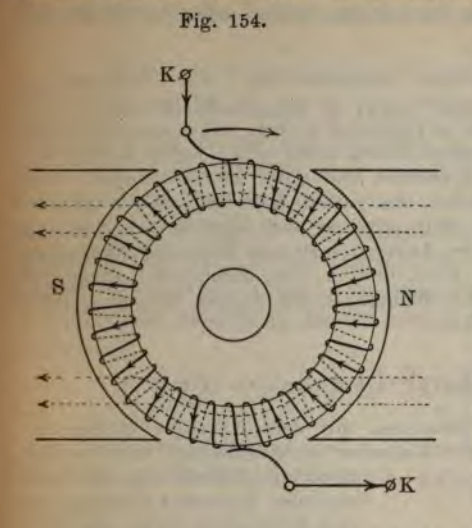
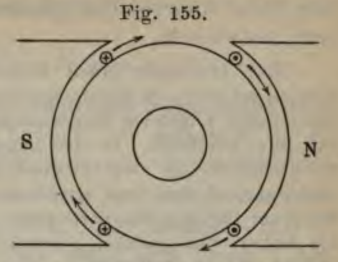


Fig. 155.



Jeder dieser Leiter verhält sich wie der Leiter L in Fig. 153. Auf jeden im Luftzwischenraum liegenden Ankerleiter wird also eine Kraft ausgeübt, deren Richtung sich leicht nach § 19 bestimmen läſst. Die Kraft wirkt dabei tangential am Umfange des Ankers.

In Fig. 155 sind nur vier Leiter auf der Ankeroberfläche dargestellt; die neben ihnen gezeichneten Pfeile geben die Richtung der

Fig. 156.

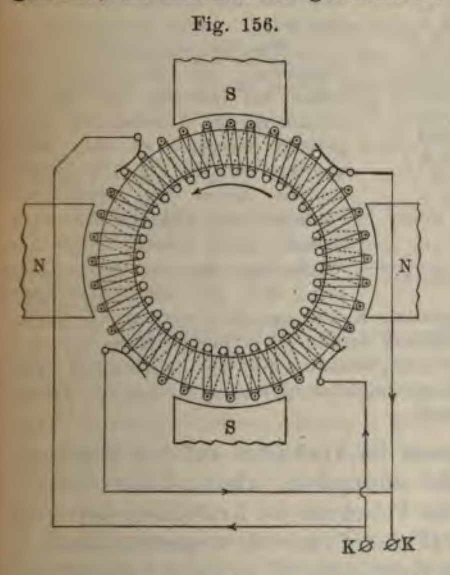
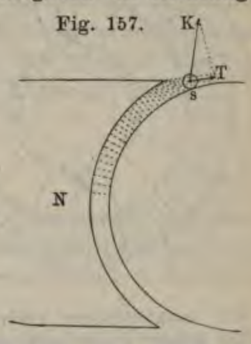


Fig. 157.



Kraft an, welche das Feld auf die Stromleiter ausübt. Die auf sämtliche Ankerleiter ausgeübten Kräfte drehen den Anker in demselben Sinne, und ihre Summe ergibt die ganze am Anker wirkende Umfangskraft.

Durch diese Umfangskraft wird der Anker in Drehung versetzt, und diese Drehung bleibt in derselben Richtung erhalten, da in jedem

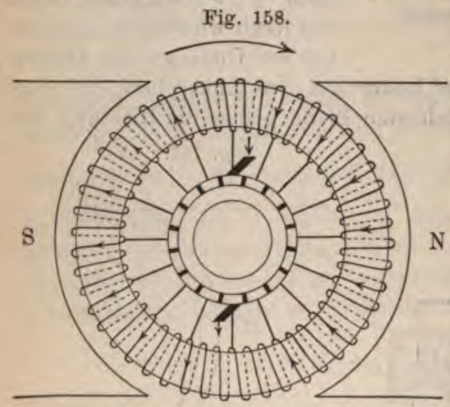
Drahte beim Passieren der neutralen Zone die Stromrichtung umgekehrt wird. Die am Umfange des Ankers liegenden Bürsten dienen also gewissermaſsen zur Steuerung des Stromes, sie sind so eingestellt, daſs beide Ankerhälften gleiche Drehungsmomente, auch der Richtung nach, entwickeln.

Fig. 156 stellt einen vierpoligen Ringanker dar. Am Umfange des Ankers wechseln Nordpole mit Südpolen ab, so daſs die Kraftlinien in den aufeinander folgenden Quadranten abwechselnd in den Anker eintreten oder aus ihm austreten. In den neutralen Zonen selbst treten weder Kraftlinien ein noch aus. Je zwei diametrale Bürsten sind unter sich verbunden. Das eine Paar ist mit dem positiven Pol, das andere Paar mit dem negativen Pol einer Stromquelle verbunden. Wir erhalten auch hier für jede Stellung des Ankers vier parallel geschaltete Ankerstromzweige, jeder derselben entspricht einem Quadranten oder Pole, und in den aufeinander folgenden Quadranten sind die Ströme in den Windungen des Ankers entgegengesetzt gerichtet (Fig. 157).

Der zweipolige Ringanker mit Kollektor (Fig. 158).

Die feststehenden Bürsten zusammen mit dem Kollektor bilden den Steuerungsapparat des Ankers. Der Kollektor ist eingerichtet wie bei den Dynamos. Zwischen je zwei aufeinander folgenden Lamellen ist eine Ankerspule, meist mit mehreren Windungen eingeschaltet. In der neutralen Zone liegen am Kollektor die feststehenden Bürsten auf.

Fig. 158.



Wie bei den Ankern der Dynamos, so kann auch bei denen der Motoren die Serienschaltung der Ankerspulen ausgeführt werden, so daſs wir, wie bei dem in Fig. 114 dargestellten Anker im vierpoligen Felde nur zwei Ankerstromzweige haben. Auch hierbei muſs die Wickelung derartig ausgeführt sein, daſs auf alle Ankerleiter von dem magnetischen Felde tangentiale Kräfte ausgeübt werden, die sämtlich den Anker in der gleichen Richtung drehen. Die Serienschaltung wird hauptsächlich bei solchen Motoren angewandt, die bei Spannungen von 500 Volt und mehr arbeiten (Straſsenbahnmotoren) und dabei nur für kleine Leistungen (etwa 20 P.S.) gebaut sind.

Während im Luftzwischenraum die Kraftlinien auf dem kürzesten Wege vom Polschuh zum Anker übergehen, also radialen Verlauf haben, breiten sich am Rande der Polschuhe die Kraftlinien bartartig aus. Die auf den Stromleiter s (Fig. 157, a. v. S.) ausgeübte Kraft K steht senkrecht zur Richtung der Kraftlinien. T ist die in tangentialer Richtung am Umfange des Ankers wirkende Komponente von K. Je schräger die Kraftlinien in den Anker treten, desto geringer wird diese

Komponente T. In der neutralen Zone selbst wird die in der Richtung der Tangente auf den Ankerleiter ausgeübte Kraft gleich Null. Von der Ecke des Polschuhs nach der neutralen Zone nimmt am Umfang des Ankers die Feldstärke aufserdem schnell ab.

Elektromotorische Gegenkraft des Ankers.

Wird das Gleitstück L (Fig. 153) durch das magnetische Feld mit der Kraft K auf den Schienen ss bewegt, so schneidet es die Kraftlinien, und in ihm wird eine E.M.K. induziert, deren Richtung bei der Bewegung von links nach rechts durch den gefiederten Pfeil, auf Grund der Regel I § 27, dargestellt wird. Die induzierte E.M.K. wirkt also der E.M.K. der Stromquelle und damit dem Strom i entgegen; sie tritt als elektromotorische Gegenkraft E_1 auf. Während der Bewegung des Gleitstückes ist also die Stromstärke i_1 in demselben

$$i_1 = \frac{E - E_1}{w}.$$

Ruht das Gleitstück, so ist $E_1 = 0$. E_1 wird nach § 28 durch die Zahl der Kraftlinien bestimmt, welche das Gleitstück pro Sekunde schneidet.

Befindet sich der Anker (Fig. 154) in Ruhe und verbindet man die Bürsten mit den Polen einer Stromquelle, so fliefst ein Strom durch die Ankerwindungen, der den Anker mit kräftigem Drehungsmoment in Bewegung setzt. Ist E_p die durch die Stromquelle hervorgebrachte Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten und w_a der Widerstand des Ankers, so würde durch den ruhenden Anker der Strom

$$i = \frac{E_p}{w_a} \tag{35}$$

fliefsen

Wird in der Zuleitung zum Anker ein Strommesser eingeschaltet so zeigt derselbe beim Einschalten die Stromstärke i an, welche aber in dem Mafse abnimmt, wie die Drehungsgeschwindigkeit des Ankers, zunimmt[1]).

Die Änderung der Stromstärke während des Anlaufens des Ankers scheint auf den ersten Blick mit dem Ohmschen Gesetze im Widerspruch zu sein. Dieselbe ergibt sich jedoch aus der im rotierenden Anker hervorgebrachten Gegen-E.M.K.

Sobald der Anker des Motors in Drehung versetzt wird, entsteht in ihm eine elektromotorische Gegen-

[1]) In den weitaus meisten Fällen ist bei diesem Inbetriebsetzen des Motors der in den Anker fliefsende Strom wegen des geringen Ankerwiderstandes so stark, dafs die Ankerwickelung beschädigt wird; es mufs bei den Motoren in der Zuleitung ein Anlafswiderstand eingeschaltet werden (vergl. § 49).

kraft die um so gröfser ist, je schneller der Anker umläuft und je stärker das Feld ist. Die Ankerleiter schneiden die Kraftlinien und in ihnen wird daher eine E.M.K. induziert, in derselben Weise wie in den wirksamen Leitern auf dem Anker der Dynamo. Bestimmen wir nach der Regel § 27 die Richtung der E.M.K. für den Ringanker Fig. 154, so zeigt sich, dafs in allen Ankerleitern die induzierte E.M.K. dem Strome entgegenwirkt, der infolge der Polklemmenspannung E_p durch den Anker getrieben wird. Die in den einzelnen Ankerleitern induzierten elektromotorischen Kräfte setzen sich zur Gegen-E.M.K des Ankers zusammen in derselben Weise wie bei der Dynamo. Sind z wirksame Ankerleiter vorhanden, bedeutet n die Tourenzahl des Ankers in der Minute und gehen vom Nordpol Φ Kraftlinien durch den Anker zum Südpol, so ist die Gegen-E.M.K. des Ankers entsprechend der Gleichung (29):

$$(36) \qquad E = \frac{n \,.\, z \,.\, \Phi}{60} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Rotiert der Anker des Motors, so ist der durch ihn fliefsende Strom

$$(37) \qquad i = \frac{E_p - E}{w_a}.$$

Der Energieverbrauch des Ankers ergibt sich als das Produkt aus der Bürstenspannung bezw. Polklemmenspannung und der Stärke des in den Anker fliefsenden Stromes. Wird die Belastung an der Welle des Motors vergröfsert, so mufs der Energieverbrauch des Motors steigen, und bei konstanter Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten mufs also der Strom im Anker zunehmen. Wir werden später sehen, dafs die Motoren meistens so betrieben werden, dafs man die Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten konstant erhält (Betrieb mit konstanter Spannung, vergl. § 41, 1). Die Regelung der Stromstärke im Anker erfolgt durch die Gegen-E.M.K. Bei verschiedenen Belastungen und konstanter Polklemmenspannung E_p des Motors nimmt der Anker stets solche Tourenzahl an, dafs eine Gegen-E.M.K. entwickelt wird, welche so viel Strom in den Anker fliefsen läfst, dafs bei der vorhandenen Feldstärke die entgegenstehenden Widerstände gerade überwunden werden. Ist der Widerstand gegen die Bewegung des Ankers zu grofs, so dafs überhaupt keine Rotation eintritt, so ist $E = 0$, und i nimmt in diesem Falle einen Wert an, der weit über der normalen Betriebsstromstärke liegt.

Wir erhalten aus der Gleichung (37)

$$(38) \qquad E_p = E + i \,.\, w_a.$$

Beim Motor ist also die Polklemmenspannung gröfs als die im Anker induzierte E.M.K. und zwar um den im Ank eintretenden Spannungsverlust.

Die an den Polklemmen des Motors wirkende Spannung zerfällt in zwei Teile, von denen der eine zur Deckung des Spannungsverlustes im Anker, der andere zur Überwindung der im Anker auftretenden Gegen-E. M. K. dient.

Der rotierende Anker verbraucht die Energie $E_p \cdot i$ Watt, und wir haben nach der Gleichung (38)

$$E_p . i = E i + i^2 . w_a. \tag{39}$$

$i^2 w_a$ ist die im Anker in Wärme verwandelte Energie. Ei ist die elektrische Energie, welche in mechanische Energie verwandelt wird.

Zugkraft und Drehungsmoment des Ankers.

Nach den Betrachtungen des § 19 ist die auf den Leiter am Umfange des Ankers ausgeübte Zugkraft proportional der Stromstärke in demselben, ferner der Feldstärke im Luftzwischenraum.

Daraus ergibt sich, dafs die Umfangskraft, welche den Anker in Drehung versetzt, proportional ist 1. der Ankerstromstärke, 2. der Feldstärke im Luftzwischenraum und 3. der Länge des Ankerdrahtes bezw. der Zahl der an der Aufsenseite des Ankers liegenden Leiter. Ist also i_a der in den Anker fliefsende Strom, Φ die Zahl der Kraftlinien, welche vom Nordpol in den Anker gehen, und z die Zahl der Leiter auf der Ankeroberfläche, so ist das Drehungsmoment

$$D = k . i_a . \Phi . z, \tag{40}$$

wo k eine Konstante für jeden Motor ist.

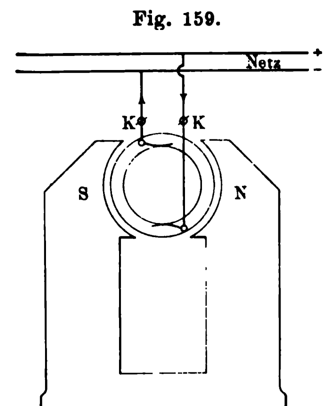
Die Zahl z der Windungen ist im Betriebe fast stets konstant. Zur Regulierung des Drehungsmomentes können i_a und Φ gleichzeitig oder einzeln geändert werden. Auch hier ist der Stromstärke i_a, die durch den Anker fliefsen kann, eine Grenze gesetzt, indem bei zu hoher Stromstärke eine übermäfsige Erwärmung der Ankerwickelung stattfindet. Theoretisch kann man das Drehungsmoment und die Zugkraft des Ankers so weit erhöhen, dafs er ganz langsam läuft oder stillsteht. Dabei würde aber wegen des geringen Betrages der Gegen-E. M. K. ein so kräftiger Strom durch die Ankerwickelung fliefsen, dafs die Isolation beschädigt, und damit der Anker überhaupt unbrauchbar würde. Auch die Feldstärke kann nur bis zu einer gewissen Grenze bei den Motoren gesteigert werden, die erreicht ist, wenn die Sättigung des Magneten eintritt.

Die Gleichungen 36, 38 und 40 enthalten die Grundgesetze der Motoren.

§ 47. Der Magnetmotor. Um die Vorgänge in den Motoren und die Betriebsverhältnisse derselben genauer zu untersuchen, ist es am einfachsten, einen Motor mit permanenten Magneten zu betrachten. In den weitaus meisten Fällen, wie auch auf den Schiffen, ist der Betrieb mit konstanter Spannung im Gebrauch, von dem schon auf S. 90 die Rede gewesen. Der Grund für die Wahl dieses Betriebes liegt in der Art, in der die Energie vom Maschinenraum und den Centralen aus verteilt wird

In Fig. 159 ist die Schaltung eines **Motors mit Dauermagneten** dargestellt. e sei die Spannung zwischen den beiden Leitungen — die sogenannte **Netzspannung** (Betriebsspannung). K und K sind die Polklemmen des Motors, welche durch Kupferdrähte oder Kabel aus Kupfer von geringem Widerstande mit dem Netze verbunden seien. Dann ist die Polklemmenspannung E_p praktisch gleich der Netzspannung e. Ist der Motor weiter entfernt vom Leitungsnetze aufgestellt, so dafs die Zuleitungen einen merklichen Widerstand w haben, so wäre

Fig. 159.



$$E_p = e - i w,$$

wenn i der in den Anker fliefsende Strom ist.

Würden bei ruhendem Anker die Bürsten direkt mit dem Netz verbunden, so würde im Augenblick des Einschaltens, da bei ruhendem Anker die Gegen-E. M. K. gleich Null ist, ein kräftiger Strom i_0 durch den Anker fliefsen, indem nach der Gleichung 37

$$i_0 = \frac{E_p}{w_a}$$

ist, wobei w_a den Widerstand des Ankers bezeichnet.

Durch diesen Strom i_0, der selbst bei kleinen Motoren erheblich gröfser ist als der normale Betriebsstrom i, erhält der Anker ein kräftiges Drehungsmoment nach der Gleichung 40, er wird also mit grofser Geschwindigkeit anlaufen.

Bei den neueren Gleichstrommotoren ist der Ankerwiderstand in den meisten Fällen sehr klein und bei normalem Betriebe beträgt der Energieverlust $i^2 w_a$ im Anker etwa 4 Proz. der ganzen vom Motor verbrauchten Energie, d. h.

$$i^2 w_a = 0{,}04 \,.\, E_p \,.\, i$$

oder

$$i\, w_a = 0{,}04\, E_p.$$

Beim Anlauf ist dagegen nach der Gleichung 37

$$i_0 \,.\, w_a = E_p,$$

d. h.:

$$i = 0{,}04\, i_0 = \frac{1}{25}\, i_0.$$

Somit ist unter den obigen Verhältnissen der Strom beim Anlauf 25mal stärker als der normale Betriebsstrom. Die Ankerwickelung, welche für den normalen Betriebsstrom eingerichtet ist, wird beim direkten Einschalten des Ankers sehr stark erhitzt und in den meisten Fällen zerstört.

Das Einschalten des ruhenden Motors mufs dadurch geschehen, dafs man in der Leitung nach dem Anker einen regulierbaren Widerstand

— den Anlafswiderstand — einschaltet. Ist der gesamte Widerstand im Anlasser $= r$, so fliefst beim Einschalten durch den Anker der Strom $i' = \frac{E_p}{w_a + r}$. r wird so gewählt, dafs der Anlaufstrom wenig gröfser ist als der normale Betriebsstrom, denn für kurze Zeit kann die Ankerwickelung wohl das Doppelte des normalen Betriebsstromes aufnehmen, ohne beschädigt zu werden. Beim Anlaufen wird r allmählich verringert, während die Tourenzahl des Ankers zunimmt und damit die Gegen-E.M.K. ansteigt. Schliefslich ist der Anlafswiderstand ganz ausgeschaltet, und wir haben dann

$$i = \frac{E_p - E}{w_a}.$$

Energiegleichung und Wirkungsgrad des Magnetmotors. Ist der Anlafswiderstand r ausgeschaltet, so wird

$$E_p = E + i\,w_a$$

und ferner

$$E_p . i = E i + i^2 . w_a,$$

wobei i die Stärke des in den Anker fliefsenden Stromes ist.

Die gesamte vom Motor aufgenommene Energie ist $E_p . i = A$. Hiervon wird der Teil Ei in mechanische Energie A_m verwandelt. Wäre der Anker des Motors widerstandslos, also $w_a = 0$, so würde $A = A_m$, und die ganze dem Motor zugeführte und von ihm verbrauchte elektrische Energie würde in mechanische Energie verwandelt. In Wirklichkeit sucht man den Ankerwiderstand möglichst klein zu machen, um den Verlust $i^2 w_a$ auf einen geringen Betrag zu reduzieren. Nicht der ganze Betrag A_m kann jedoch an der Welle des Motors als Nutzleistung verwertet werden, weil die passiven Widerstände des Motors, wie Lagerreibung u. s. w., einen Teil von A_m verbrauchen. Bezeichnen wir mit L die zur Überwindung der Lagerreibung u. s. w. verbrauchte Energie und mit A_n die an der Welle des Motors zur Verfügung stehende Nutzleistung, so ist

$$A_m = A_n + L,$$

und ferner

$$A = A_n + i^2 w_a + L.$$

Für den totalen Wirkungsgrad η des Motors haben wir

$$(41)\quad \begin{cases} \eta = \dfrac{\text{Leistung des Motors an der Welle}}{\text{Zugeführte Energie}} \\[2ex] \eta = \dfrac{A_n}{A_n + i^2 w_a + L}. \end{cases}$$

Vernachlässigt man den Verlust $i^2 w_a$, so wird $A = A_n + L$, und A wird in Fig. 160 durch die Ordinaten der Geraden OM dargestellt, indem OO' die Leistung L darstellt und von O' auf der horizontalen Achse die Nutz-

leistung A_n des Motors abgetragen wird. Stellt für einen bestimmten Fall $O'A$ die Nutzleistung des Motors dar, so ist AA' die vom Motor verbrauchte Energie. Da die Energieverluste im Anker mit dem Quadrate der Stromstärke wachsen, so würde unter Berücksichtigung dieser Verluste der Energieverbrauch des Motors durch die Ordinaten der Kurve OM' dargestellt werden, wobei die Strecke $A'A''$ dem Energieverluste $i^2 w_a$ im Anker entspricht.

Bleibt ferner der Energieverlust $i^2 w_a$ zunächst unberücksichtigt, so erhalten wir

$$\eta = \frac{A_n}{A_n + L}.$$

Da L bei verschiedenen Belastungen des Motors nahezu konstant ist, so wird η bei wachsender Leistung A_n des Motors immer mehr

Fig. 160.

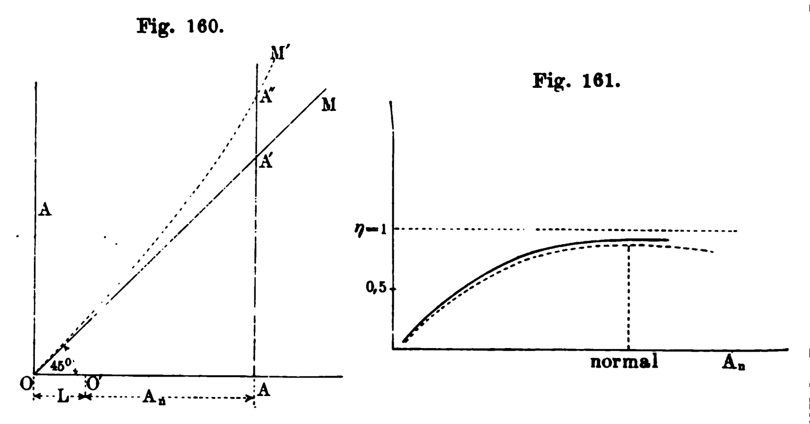


Fig. 161.

dem Werte 1 sich nähern, wie die Fig. 161 darstellt, wo die an der Welle des Motors abgegebene Leistung A_n als Abscisse dargestellt ist, und die Ordinaten der Kurve den Wirkungsgrad für die entsprechende Leistung des Motors darstellen. Berücksichtigen wir aber den Verlust im Anker, so hat die Kurve für η einen etwas veränderten Verlauf, der Wirkungsgrad ist kleiner und wird etwa durch die punktierte Kurve dargestellt. Wird die normale Belastung des Motors wesentlich überschritten, so kann die Kurve für η wieder abfallen. Der richtig konstruierte Motor soll bei der normalen Belastung den höchsten Wirkungsgrad haben, und für denselben ist der obere Teil der Kurve η so flach, dafs der Wirkungsgrad sich zwischen $^3/_4$ und $^5/_4$ der normalen Belastung nur unbedeutend ändert.

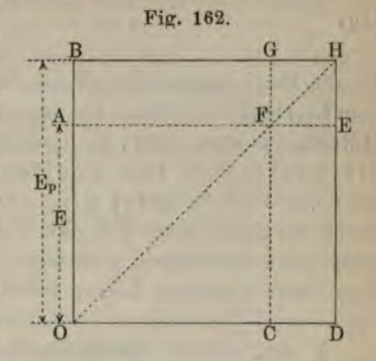
Stellt die Seite OB des Quadrates (Fig. 162) die Polklemmenspannung dar, während OA die Gegen-E. M. K. $= E$ des Motors ist, so gibt $AB = CD$ den Spannungsverlust iw_a im Anker des Motors nach der Gleichung 38. $AB = CD$ stellt also $iw_a = E_p - E$ dar, ist also proportional der Stromstärke i, da w_a konstant ist. Da $AF = BG = E$ ist, so stellt das Rechteck $ABGF = CFED$ durch seinen Inhalt die im Motor in mechanische Energie verwandelte elektrische Energie $E.i$ dar. Der Inhalt des Rechtecks $ABHE$

entspricht der dem Motor zugeführten Energie $E_p \cdot i$. Der Wirkungsgrad η ist durch das Verhältnis der Flächen

$$\eta = \frac{\square\, CFED}{\square\, ABHE}$$

gegeben. Da die Seite $AB = HE$ der Stromstärke proportional ist und $GH = FE$ den Spannungsverlust $E_p - E$ im Anker darstellt, so entspricht der Inhalt des Quadrates $GFHE$ dem Energieverlust im Anker des Motors. Bei Leerlauf rückt F nahe heran an H; bei absolutem Leerlauf, d. h. wenn die passiven Widerstände $= 0$ wären, würden H und F zusammenfallen. Der Motor verbraucht dann keine Energie, leistet aber auch nichts; die im Anker induzierte E. M. K. würde in diesem idealen Falle der Polklemmenspannung das Gleichgewicht halten, und i wäre gleich Null.

Fig. 162.



Das Rechteck $CDEF$ stellt nicht allein die Nutzleistung an der Welle des Motors dar, sondern überhaupt alle elektrische Energie, die in mechanische verwandelt ist; also nach der früheren Bezeichnung $A_n + L$. Ist $E = \frac{E_p}{2}$, so wird das Rechteck $ABGF$ zum Quadrat, und dieses hat unter allen Rechtecken, dessen eine Ecke in B, während die gegenüberliegende Ecke auf OH liegt, den gröfsten Inhalt. Für $E = \frac{E_p}{2}$ hat also der Motor seine gröfste Leistung, während der Wirkungsgrad $= 0{,}5$ ist. Maximum der Leistung und möglichst grofser Wirkungsgrad fallen also nicht zusammen. In der Praxis arbeiten die Motoren mit wesentlich höherer, fast der doppelten, Tourenzahl, als diejenige ist, bei der die Leistung ihren höchsten Betrag hat.

Tourenzahl des Motors. Bei normaler Belastung unterscheiden sich E und E_p bei den in der Praxis ausgeführten Motoren nur um einige Prozent von E_p, weil w_a meist sehr klein ist. Wird die Belastung geringer als die normale, so ist die Differenz zwischen E_p und E noch kleiner. Bei Leerlauf sind E_p und E sehr nahe einander gleich. Ist der Motor an der Welle normal belastet, und vermindern wir die Belastung, so mufs nach dem Energieprinzipe auch der Energieverbrauch des Motors abnehmen. Da die Polklemmenspannung als konstant vorausgesetzt ist, so mufs infolge der Abnahme der Belastung der Stromverbrauch des Motors sinken. Bei der Verminderung der Belastung wird der Anker ein wenig seine Tourenzahl erhöhen, so dafs die Gegen-E. M. K. (Gleichung 36) ansteigt, und damit die Stromstärke im Anker nach der Gleichung 37 abnimmt. Setzt man den Ankerwiderstand als sehr klein voraus, so genügt bereits eine geringe Erhöhung der Tourenzahl und damit der Gegen-E. M. K., um die Stromstärke im Anker merklich abzuschwächen. Nach den an die Gleichung 37 geknüpften Bemerkungen reguliert also die

Gegen-E.M.K. den Energieverbrauch des Motors, indem der Anker sich stets auf solche Tourenzahl einläuft, dafs gerade so viel Strom durch den Anker fliefst, dafs die der Bewegung des Ankers entgegenstehenden Widerstände überwunden werden.

Aus den Gleichungen 36 und 37 ergibt sich, dafs

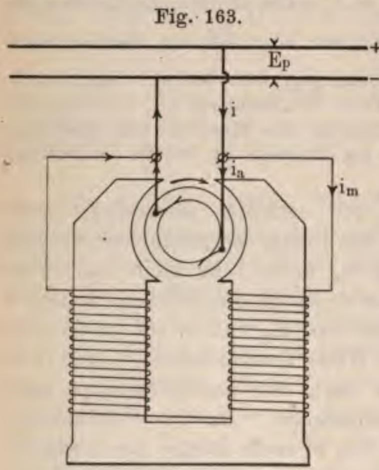
$$n = \frac{60 \,.\, (E_p - i\,w_a)}{z \,.\, \Phi}\, 10^8. \tag{42}$$

Da die Betriebsspannung E_p als konstant vorausgesetzt ist, und $i w_a$ vom Leerlauf bis Volllast bei den in der Praxis am meisten gebrauchten Motoren bis etwa $0{,}05 \,.\, E_p$ anwächst, so bleibt bei konstantem Φ die Tourenzahl fast konstant, wenn der Motor vom Leerlauf bis Voll belastet wird. Der Magnetmotor zeichnet sich daher durch die Eigenschaft aus, dafs bei dem Betriebe mit konstanter Spannung seine Tourenzahl sich wenig mit der Belastung ändert, solange diese ihren normalen Betrag nicht merklich überschreitet.

§ 48. Der Elektromotor mit Nebenschlufswickelung.

1. Schaltung. Die Schaltung des Motors bei konstanter Betriebsspannung zeigt Fig. 163. Die Magnetwickelung bildet einen Nebenschlufs zum Anker, und der durch die Magnetspulen fliefsende Strom kommt aus derselben Stromquelle, aus welcher der in den Anker fliefsende Strom herrührt. Wie bei den Dynamos mit Nebenschlufswickelung haben auch hier die Magnetspulen einen verhältnismäfsig grofsen Widerstand. Ist der Widerstand der Magnetspulen, die meist zueinander in Serie geschaltet sind, gleich w_m, so ist nach Fig. 163 der Strom in ihnen

Fig. 163.



$$i_m = \frac{E_p}{w_m},$$

wobei E_p die Polklemmen- bezw. Netzspannung ist. Der Energieverbrauch in den Magnetspulen ist also

$$E_p\, i_m = i_m^2 \,.\, w_m \text{ Watt.}$$

Bleibt die Netzspannung E_p konstant, so ändert sich der Strom i_m in den Magnetspulen nicht, wenn sich auch der Strom i_a im Anker entsprechend der Belastung des Motors ändert. Bleibt aber der Strom i_m in der Magnetwickelung konstant, so bleibt auch der magnetische Kraftlinienflufs im Anker unveränderlich. Daher wird sich der Motor mit Nebenschlufswickelung ähnlich wie der Motor mit Dauermagnet im Betrieb

erhalten. Zu beachten ist freilich, dafs durch den Dauerbetrieb der Widerstand der Magnetwickelung infolge der Erwärmung etwas zunimmt, bei konstanter Spannung also i_m um ein Geringes abnehmen mufs.

Die Anwendung der Elektromagnete bietet den Vorteil, dafs wir sehr viel stärkere Felder erhalten als mit permanenten Magneten, und dafs die Stärke dieser Felder zur Regulierung der Tourenzahl des Motors verändert werden kann.

2. Energiegleichung des Nebenschlufsmotors. Die Energiegleichung für den Nebenschlufsmotor wird ähnlich derjenigen für den Motor mit permanenten Magneten sein, nur, dafs noch Rücksicht auf den Energieverlust in der Magnetwickelung zu nehmen ist. Die Energiegleichung lautet also

$$A = E_p i = A_n + i_a^2 w_a + i_m^2 w_m + L, \quad (43)$$

wobei

$$i = i_a + i_m.$$

Um einen Einblick in die Energieverteilung in einem Nebenschlufsmotor zu geben, benutzen wir folgendes Beispiel:

Ein Nebenschlufsmotor hat die normale Leistung 8 P.S. und arbeitet mit der Polklemmenspannung 110 Volt. Der Widerstand des warmen Ankers ist 0,092 Ω; der Strom in der Magnetwickelung ist 1,4 Amp. Bei Leerlauf fliefst durch den Anker der Strom $i_a^0 = 5{,}5$ Amp., während bei der normalen Belastung der Anker den Strom $i_a = 62{,}2$ Amp. aufnimmt.

Für den Leerlauf haben wir nach Gleichung 43

$$110 \,.\, (5{,}5 + 1{,}4) = 5{,}5^2 \,.\, 0{,}092 + 110 \,.\, 1{,}4 + L,$$

da die Nutzleistung $A_n = 0$ ist.

Beim Leerlauf ist der Energieverlust im Anker (2,8 Watt) so klein, dafs er vernachlässigt werden kann

$$759 = 2{,}9 + 154 + L.$$

Von der beim Leerlauf verbrauchten Energie 759 Watt entfallen etwa

$^1/_5$ auf die Unterhaltung der Magnetisierung (154 Watt) und

$^4/_5$ auf die Überwindung der passiven Widerstände wie Lagerreibung u. s. w. (602 Watt).

Die ganze beim Leerlauf verbrauchte Energie 759 Watt macht etwa 12,9 Proz. der normalen Leistung des Motors $A_n = 8 \,.\, 736 = 5888$ Watt aus.

Für den Betrieb bei normaler Belastung haben wir im Anker den Energieverlust

$$i_a^2 \,.\, w_a = 62{,}2^2 \,.\, 0{,}092 = 356 \text{ Watt.}$$

In der Magnetwickelung werden verbraucht

$$E_p \,.\, i_m = 110 \,.\, 1{,}4 = 154 \text{ Watt.}$$

Dabei ist der Widerstand der Magnetwickelung (einschliefslich eines mit den Spulen etwa in Reihe geschalteten Widerstandes)

$$w_m = \frac{110}{1{,}4} = 78{,}57 \ \Omega.$$

Da bei normaler Belastung der Motor

$$A = E_p \,.\, i = 110 \,.\, (62{,}2 + 1{,}4) = 6996 \text{ Watt}$$

verbraucht, so bleibt für die Nutzleistung

$$A_n = 6996 - (154 + 356 + 602) = 5884 \text{ Watt,}$$

so dafs also $A_n = 8$ P. S. Dabei ist vorausgesetzt, dafs L mit der Belastung sich nicht ändert. Bei normaler Belastung mit 8 P. S. beträgt dabei der Energieverlust im Anker etwa 6 Proz. der Nutzleistung des Motors, und der Wirkungsgrad ist

$$\eta = \frac{A_n}{A} = 0{,}842.$$

3. Tourenzahl des Nebenschlufsmotors und Regulierung derselben durch den Nebenschlufsregulator. Wenn der in den Magnetspulen fliefsende Strom i_m und damit auch der Kraftlinienflufs Φ im Anker konstant bleibt, so gilt das im Anschlufs an die Gleichung 42 für Magnetmotoren ausgesprochene Gesetz auch für die Nebenschlufsmotoren, bei denen der Widerstand der Ankerwickelung meistens sehr klein ist.

Wir finden also bei den Nebenschlufsmotoren, dafs bei konstanter Polklemmenspannung die Tourenzahl des Ankers vom Leerlauf bis zur normalen Belastung nur um 5 bis 6 Proz. abnimmt. Diese Gleichmäfsigkeit der Umdrehungszahl des Ankers bei Änderungen der Belastung gibt dem Nebenschlufsmotor seine Bedeutung, da wohl die meisten Kraftkonsumstellen mit wechselndem Kraftbedarf arbeiten, aber die Tourenzahl doch stets einen gewissen Betrag behalten soll.

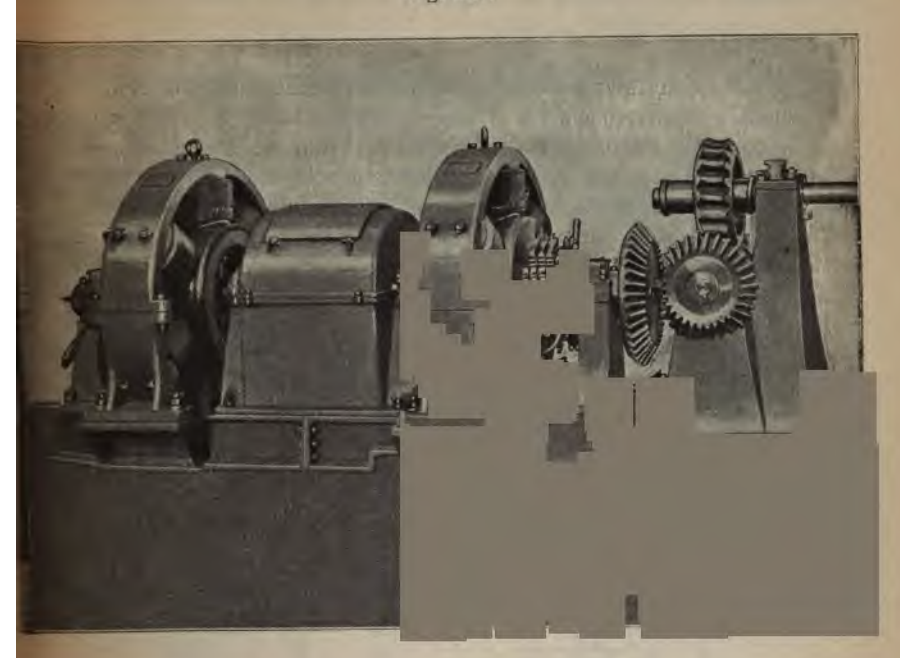
Meistens wird mit der Magnetwickelung in Reihe, wie bei den Nebenschlufsdynamos, ein regulierbarer Widerstand geschaltet, wodurch die Stromstärke im Nebenschlufs und damit auch der magnetische Kraftlinienflufs im Anker geändert werden kann. Wird durch den Nebenschlufsregulator Widerstand eingeschaltet, so nimmt Φ ab, und die Tourenzahl des Ankers steigt nach der Gleichung 42 bei konstanter Betriebsspannung E_p an. Den Tourenabfall zwischen Leerlauf und normaler Belastung kann man demnach durch eine Verringerung der Feldstärke mittels des Regulierwiderstandes beseitigen. Überhaupt kann man durch Veränderung der Feldstärke mittels des Regulators im Nebenschlufs die Tourenzahl des Motors meist um etwa 10 bis 20 Proz. des normalen Betrages verändern.

Natürlich kann durch weitere Vergröfserung des im Nebenschlufs eingeschalteten Widerstandes die Tourenzahl noch mehr als 20 Proz. über die normale erhöht werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dafs in dem Mafse, wie Φ abnimmt, die Ankerstromstärke zur Erhaltung der Zugkraft zunehmen mufs. Von Siemens u. Halske, A.-G., Berlin, und anderen Firmen werden Motoren geliefert, bei denen eine Änderung der Tourenzahl im Verhältnis 1 : 2 durch Änderung des Stromes in der Magnetwickelung möglich ist; Belastungsänderungen haben dabei auf die einmal eingestellte Geschwindigkeit geringen Einflufs (vergl. S. 143).

Von der Änderung der Tourenzahl des Motors durch Einwirkung auf den Nebenschlufsregulator wird bei der von der Union Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, konstruierten elektrischen Steuermaschine (Fig. 164)

Gebrauch gemacht. Dieselbe besteht aus zwei ständig in umgekehrter Drehungsrichtung rotierenden Motoren von je 50 P. S., die auf ein Differentialgetriebe in solcher Weise arbeiten, dafs die Differentialwelle stillsteht, solange die Anker der Motoren gleiche Umdrehungszahl haben, jedoch in Drehung versetzt wird,

Fig. 164.



sobald die Umdrehungszahlen beider Anker untereinander variieren. Die Differenz der Umdrehungszahlen wird in weiten Grenzen allein durch Änderung des Stromes in den Magnetspulen bewirkt, wobei nur nötig ist, von der Kommandostelle drei Leitungen zu verlegen nach dem im Ruderhaus aufgestellten Ruderlenker, der ein mehrstufiger Regulierwiderstand ist. Die Änderung der Feldstärke findet bei beiden Motoren stets im entgegengesetzten Sinne statt, d. h. wird die Tourenzahl des einen erhöht, so wird die des anderen gleichzeitig erniedrigt.

Gegen die Einführung dieser Steuermaschine ist geltend gemacht: 1. die nicht unerhebliche Leerlaufsarbeit der Motoren auch bei der Ruhelage des Steuers und 2. das Gewicht der ganzen Anordnung.

Über die Hauptstromregulierung der Tourenzahl siehe S. 124.

4. **Zugkraft.** Solange die Feldstärke des Nebenschlufsmotors konstant ist, bleibt das vom Anker ausgeübte Drehungsmoment nach der Gleichung 40 proportional der Stärke i_a des in den Anker fliefsenden Stromes. Dabei sind Zugkraft und Drehungsmoment des Ankers durch die maximale Ankerstromstärke begrenzt, welche mit Rücksicht auf die Erwärmung zulässig ist. Überschreitet man, insbesondere während des Anlaufens unter Belastung, kurze Zeit die normale Betriebsstrom-

stärke, so wird die Zugkraft des Ankers in demselben Mafse gröfser als die normale Zugkraft, wie die während des Anlaufens zugelassene Stromstärke gröfser ist als die Ankerstromstärke bei normaler Belastung. Für kurze Zeit während des Anlaufes kann wohl die Ankerstromstärke zur Erhöhung der Zugkraft auf den 1,5- bis 2fachen Wert der normalen gebracht werden.

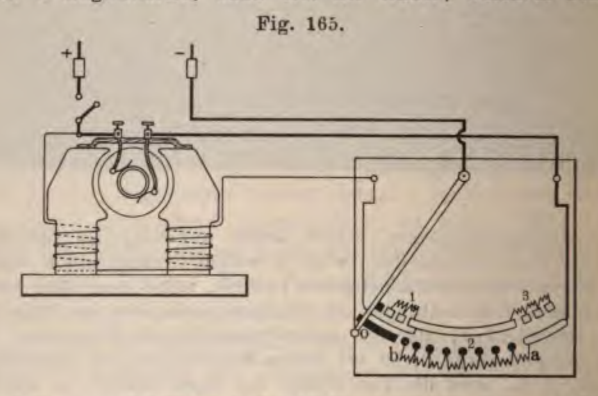
§ 49. Anlafswiderstand für den Nebenschlufsmotor. Beim Einschalten würde, nach den Bemerkungen auf S. 114, durch direkte Verbindung der Bürsten mit dem Netze im Anker ein Strom entstehen, bei welchem der Anker verbrennen, oder mit solchem Ruck anlaufen würde, dafs Drahtbrüche in der Wickelung entständen.

Fig. 165 zeigt einen Anlafswiderstand in Verbindung mit dem Nebenschlufsmotor.

Das Anlassen mufs so erfolgen, dafs stets zuerst der Magnetstrom und dann der Ankerstrom eingeschaltet wird. Beim Ausschalten wird dagegen zuerst der Ankerstrom und dann erst der Strom in der Magnetwickelung unterbrochen.

Steht die Kurbel des Anlassers auf o, so ist der Motor ausgeschaltet. Beim Inbetriebsetzen wird zuerst die Magnetwickelung allmählich durch den Widerstand 1 eingeschaltet, dann erst der Anker, welchem zunächst die

Fig. 165.



Widerstände 2 vorgeschaltet sind. Steht die Kurbel bei a, so ist der Motor im Betriebe mit voller Tourenzahl. Die Kurbel hat dabei metallische Berührung sowohl mit der inneren, wie mit der äufseren Reihe der Kontakte. Der Widerstand 3 dient beim Bewegen der Kurbel über a hinaus zum Regulieren der Feldstärke bezw. der Tourenzahl des Ankers.

Beim Einschalten wird die Kurbel langsam über die Kontakte bewegt. Ist die Kurbel bei b angekommen, so mufs der Anker anlaufen. Beim Ausschalten wird die Kurbel von a nach o zurückgedreht. Dabei wird dem Anker so viel Widerstand vorgeschaltet, dafs die Stromstärke in ihm auf einen kleinen Betrag sinkt, und das Ausschalten des Ankers mit sehr schwacher Funkenbildung verbunden ist. Dagegen wird beim Ausschalten d Feldmagneten, wenn die Kurbel von 1 auf 0 übergeht, wegen der hoh Selbstinduktion in den Magnetspulen eine sehr hohe Induktionsspannu erzeugt, die leicht den 8- bis 10fachen Betrag der Betriebsspannung e

hmen kann und in kurzer Zeit eine Beschädigung der Isolation der Spulen er ein Durchschlagen der Isolation der Bewickelung zur Folge haben kann, nz abgesehen davon, dafs der kräftige Öffnungsfunken stark die Metall- ntakte des Anlassers beschädigt.

Vorteilhafter ist es daher, die Schaltung des Anlassers mit dem lotor so anzuordnen, dafs beim Ausschalten des Motors eine Unter- rechung des Magnetstromkreises überhaupt nicht eintritt, indem nach em Ausschalten die Magnetspulen mit dem Anker einen geschlossenen tromkreis bilden.

Fig. 166 stellt eine solche Anordnung dar, bei der die Magnetspulen nd der Anker gleichzeitig eingeschaltet werden, da das eine Ende der agnetspulen am ersten Kontakte des Anlassers anliegt. Der in Fig. 166 argestellte Anlasser ist einfacher als der vorige. Ist der ganze Anlafswider- and ausgerückt, so ist der Widerstand des Nebenschlusses um den Wider-

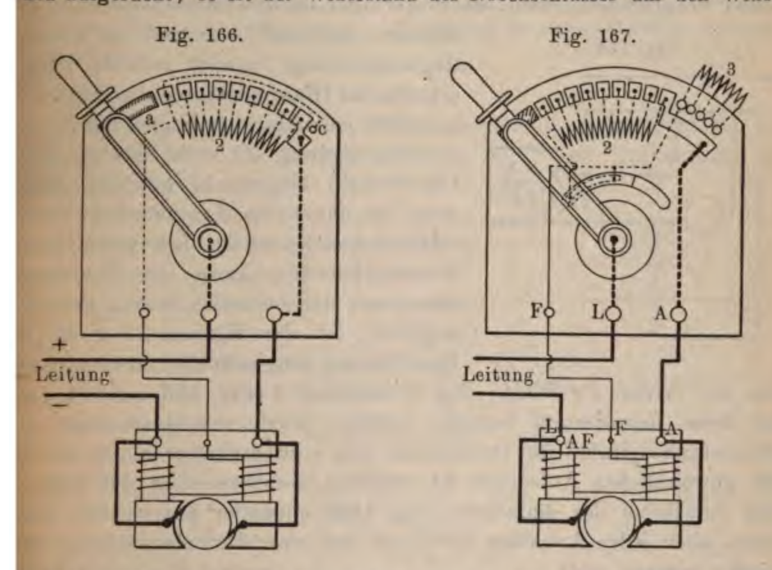


Fig. 166. Fig. 167.

and des Anlassers vergröfsert, und also wird die Stromstärke im Neben- hlufs während des Anlassens, freilich nur sehr wenig, verringert. Bei der Fig. 166 dargestellten Anordnung der Deutschen Elektrizitäts-Werke zu achen berührt der Hebel in der Endstellung noch einen Kontakt *c*, r mit dem Anfangskontakt verbunden ist. Dadurch wird wieder der iderstand des Anlassers aus dem des Nebenschlusses beseitigt.

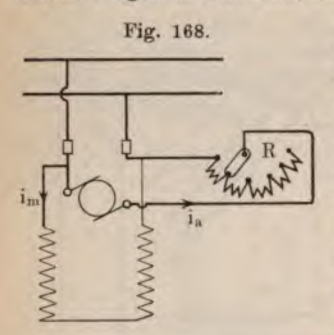
Man führt den Anlafswiderstand zweckmäfsig so aus, dafs bei der arbelstellung auf dem ersten Kontakt die volle Betriebsstromstärke durch n Anker geht. Bei dem auf S. 119 behandelten Nebenschlufsmotor müfste also r Widerstand des Anlasser $\frac{110}{62} = \sim 1{,}8\ \Omega$ sein. Dieser Widerstand würde r Magnetwickelung von 78,6 Ω bei der Anordnung Fig. 166 zugeschaltet, durch der Magnetstrom nur unmerklich geändert wird. Beim Ausschalten er wird die durch die Selbstinduktion in den Magnetspulen hervorgebrachte annung sich durch die Magnetwickelung, den Anker, und den Wider-

stand des Anlassers, die in Hintereinanderschaltung einen geschlossenen Stromkreis bilden, ausgleichen.

Fig. 167 stellt einen Anlasser mit Nebenschlufsregulierung dar nach der Konstruktion der Deutschen Elektricitätswerke in Aachen. Bei zu grofser Schwächung des Magnetstromes wird das vom Anker hervorgebrachte Magnetfeld gegenüber dem vom Magneten herrührenden Felde zu kräftig, und es tritt leicht eine starke Funkenbildung am Kollektor auf.

§ 50. Andere Methoden der Änderung der Tourenzahl der Nebenschlufsmotoren. 1. Hauptstromregulierung der Tourenzahl. Die Regulierung der Tourenzahl des Motors kann auch dadurch geschehen, dafs in der Zuleitung (Fig. 168) zum Anker ein regulierbarer Widerstand R, wie der Widerstand 2 des Anlassers (Fig. 166 und 167), eingeschaltet wird. Je mehr Widerstand dem Anker vorgeschaltet wird, desto geringer ist die Bürstenspannung des Motors, und auf eine um so kleinere Gegenspannung braucht sich der Motor einzulaufen (Hauptstromregulierung). Dabei wirkt jedoch an den Enden der Nebenschlufswickelung die volle Netzspannung. Die höchste Tourenzahl hat der Anker, wenn der ganze ihm vorgeschaltete Widerstand ausgeschaltet ist. Durch die Hauptstromregulierung kann die Tourenzahl also unter den normalen Betrag gebracht werden. Ist der Widerstand r in der Hauptleitung eingeschaltet, so entsteht in ihm der Verlust $i^2 r$ Watt. Der Widerstand 2 (Fig. 166 u. 167) kann für diese Regulierung benutzt werden, wenn der Querschnitt der Widerstandsspiralen für Dauerstrom von vornherein berechnet ist. Bei den gewöhnlichen Anlassern ist letzteres meistens nicht der Fall, so dafs der Hebel des Anlassers (Fig. 166) entweder bei a oder bei c steht, aber jedes Anhalten desselben auf einer Zwischenstellung vermieden werden mufs.

Fig. 168.



2. Anderung der Tourenzahl durch Änderung der Betriebsspannung. Bleibt die Stromstärke in den Magnetspulen und also auch Φ konstant, so ändert sich die Tourenzahl des Ankers nach der Gleichung 42 annähernd im gleichen Verhältnis mit E_p. Wird also die Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten vom doppelten Betrag, etwa 150 Volt, auf die Hälfte 75 Volt reduziert, während die Erregung des Feldmagneten sich nicht ändert, so braucht sich der Anker im zweiten Falle nur auf die Gegen-E.M.K. 75 Volt einzulaufen, macht also nur etwa halb so viel Umdrehungen als bei 150 Volt. Diese Art der Regulierung setzt voraus, dafs man zwei verschiedene Sp[annu]ngsdifferenzen zur Verfügung hat wie bei dem Dreileitersystem (si[ehe] § 126), wo die Spannungen 220 Volt und 110 Volt zur Verfügung steh[en].

Für die Bläser[1]) auf den Kriegsschiffen „Kearsarge" und „Kentucky" d 12 P. S.-Motoren mit Nebenschlufswickelung aufgestellt. Durch Regu-rung des Stromes in den Magnetspulen, zwischen deren Enden die Span-ng 80 Volt wirkt, kann die Geschwindigkeit bei 160 Volt Spannungsdifferenz ischen den Bürsten von 500 auf 400 Umdrehungen des Ankers vermindert rden. Erniedrigt man die Spannungsdifferenz zwischen den Bürsten auf Volt, so sinkt die Tourenzahl des Ankers auf etwa 200.

Ebenso können auch die Motoren für die Bootkräne auf den beiden nannten Kriegsschiffen auf 160 Volt oder 80 Volt geschaltet werden.

Hierher gehört auch eine Methode der Regulierung der Tourenzahl, die i den Nebenschlufsmotoren zur Anwendung gebracht ist, die auf Kriegs-hiffen zum Drehen der Panzertürme und Geschütze dienen. Zur Strom-eferung wird eine Nebenschlufsdynamo benutzt, die ausschliefslich den Strom ir den betreffenden Motor liefert, der mit einem Strom von konstanter tärke aus dem Leitungsnetz für die Beleuchtung erregt wird. Am Auf-ellungsorte des Motors befindet sich der Nebenschlufsregulator der Dynamo, urch welchen die Betriebsspannung des Motors in weiten Grenzen verändert erden kann.

§ 51. **Umkehranlasser** (Wendeanlasser). Beim Betriebe von ränen, Winden, Fahrzeugen u. s. w. wird eine Umkehrung der rehungsrichtung des Motors gefordert. Diese mkehrung kann ent-eder dadurch erreicht erden, dafs der Strom n Anker umgekehrt ird, während die Mag-etpole dieselben blei-en, oder dadurch, dafs er Strom in den Mag-etspulen umgekehrt ird, während der nkerstrom seine Rich-ung behält. Im letz-eren Falle ist bei der onstruktion des Um-ehranlafswiderstandes besonders darauf zu achten, dafs die Umkeh-ung des Stromes in den Magnetspulen möglichst funkenfrei voll-ogen wird.

Fig. 169.

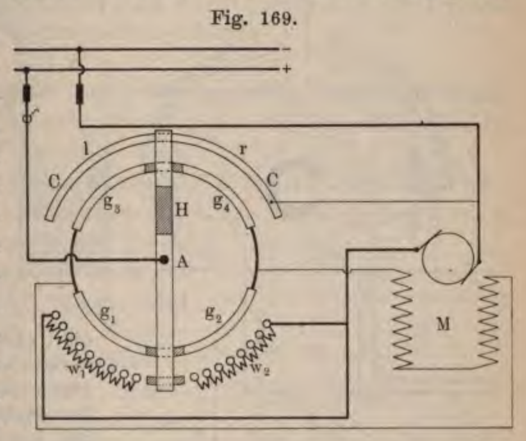


Fig. 169 stellt die Schaltung eines Umkehranlafswider-tandes dar.

Durch Drehen des Hebels nach rechts oder links kann der Strom in er Magnetwickelung *M* umgekehrt werden, während bei beiden Drehungs-

[1]) Vergl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure **44**, 1606 und 1688. 00.

richtungen des Hebels H der Strom im Anker dieselbe Richtung hat. Die beiden Enden des um A drehbaren Hebels schleifen gleichzeitig auf den beiden koncentrisch angeordneten Kontakten. g_1 und g_2, sowie g_3 und g_4 sind durch Zwischenstücke aus Isoliermaterial voneinander getrennt. Beim Anlassen ist stets einer der Widerstände w_1 oder w_2 dem Anker vorgeschaltet. Die beiden Enden des Hebels sind durch ein schraffiert gezeichnetes Zwischenstück H voneinander isoliert. Dreht man den Hebel nach rechts, nachdem der Ausschalter a geschlossen ist, so geht von der +Leitung

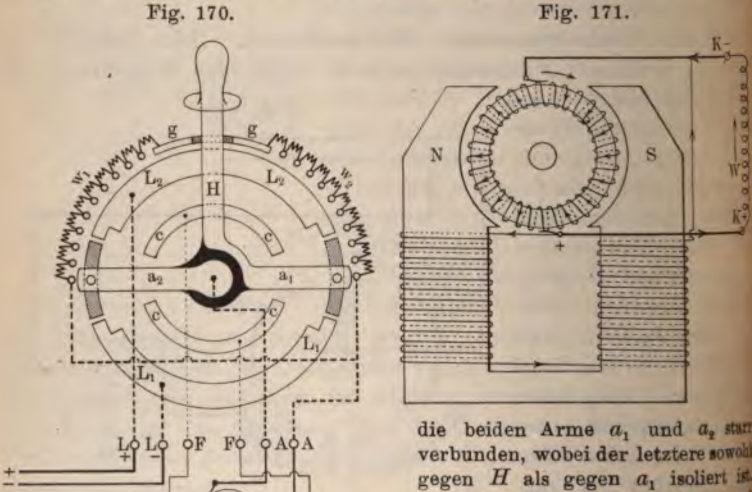
der Magnetstrom { nach A, über g_1 zur Magnetwickelung M und dann nach g_4, von dort zur Schiene CC und zurück zur —Leitung

der Ankerstrom { nach A, durch w_1 in den Anker und dann zurück zur —Leitung.

Dreht man den Hebel H nach links, so ist die Stromrichtung in den Magnetspulen umgekehrt.

Fig. 170 stellt die Schaltung eines Wendeanlassers dar, bei welchem der Strom in der Ankerwickelung umgekehrt wird. Mit dem Hebel H sind

Fig. 170. Fig. 171.



die beiden Arme a_1 und a_2 starr verbunden, wobei der letztere sowohl gegen H als gegen a_1 isoliert ist. Der Hebel H schleift auf gg und den Kontakten der Widerstände w_1 und w_2, während die Arme a_1 und a_2 auf den Kontaktstücken c, L_1 und L_2 liegen. Die Widerstände w_1 und w_2 sind dem Anker vorgeschaltet. Wird H nach rechts gedreht, so geht von $L+$ der Strom nach L_2 und dann

1. über a_2 durch den Anker und w_2 nach H — a_1 und von L_1 nach $L-$,
2. durch a_2 nach c, dann durch M und von c_1 durch a_1 ebenfalls nach L_1.

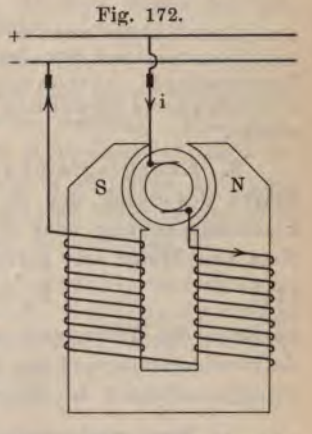
Wird H nach links gedreht, so fließt der Strom zunächst durch w_1 und dann durch den Anker. Der in Fig. 170 dargestellte Anlasser kann auch für Regulierung der Tourenzahl durch Änderung des Stromes in den Magnetspulen eingerichtet werden nach dem auf S. 120 besprochenen Verfahren.

§ 52. **Vergleich der Drehungsrichtung des Ankers bei der ebenschlufsdynamo und dem Nebenschlufsmotor.** Fig. 171 ellt eine Nebenschlufsdynamo dar, die auf den Widerstand w arbeitet. er Stromlauf ist dabei durch Pfeile angedeutet. Wird w fortenommen und sofort K_+ mit dem positiven Pol einer anderen tromquelle, etwa einer Akkumulatorenbatterie, verbunden und ebenso K_- mit dem negativen Pol derselben Stromquelle, so arbeitet die Maschine als Motor. Wir setzen dabei voraus, dafs die Polklemmenpannung des Akkumulators um einige Volt höher ist als die der Dynamo. Die Stromrichtung im Anker wird dabei umgekehrt, während der Strom in den Magnetspulen seine Richung beibehält. Solange die Maschine als Dynamo auf den Widertand w arbeitet, werden die vom Strome durchflossenen Ankerdrähte ntgegen den vom Felde ausgeübten Kräften (vergl. § 19) durch die Betriebsmaschine vorwärts getrieben. Wenn in der angegebenen Weise ie Dynamo zum Motor wird, so bleibt trotz der Umkehrung des tromes in den Ankerleitern die Drehungsrichtung dieselbe. Dies ist esonders wichtig für diejenigen Fälle, wo zwei oder mehrere Nebenchlufsdynamos parallel geschaltet sind (vergl. § 129) oder die Dynamo um Laden einer Akkumulatorenbatterie dient.

§ 53. **Der Hauptstrom- oder Serienmotor.** Auch hier wollen ir den Betrieb mit konstanter Spannung ausschliefslich ins uge fassen.

1. Schaltung. Bei diesem Motor (Fig. 172) fliefst derselbe Strom i acheinander durch den Anker und durch die Magnetspulen ($i = i_a = i_m$ nach der Bezeichnung des § 48). obald sich also die Stromstärke in der nkerwickelung des Motors ändert, wird uch die Stromstärke in den Magnetpulen und damit auch die Feldstärke ch verändern. Während der Nebenhlufsmotor im Betriebe mit konstanter pannung ein fast konstantes Magnetfeld at, ändert sich bei demselben Betriebe 1 Hauptstrommotor die Feldstärke mit r Belastung des Motors.

Fig. 172.



2. Anlassen und Zugkraft des otors. Während der kurzen Zeit des nlaufes kann auch hier die Stromstärke s zum Doppelten der normalen Betriebsromstärke erhöht werden. Dieser kräftige Strom beim Anlauf fliefst rch Anker und Magnetspulen. Nach der Gleichung 40 werden ir also beim Anlauf des Hauptstrommotors ein kräftiges Drehmoment ben, da sowohl Φ als auch $i = i_a$ einen möglichst hohen Wert hat.

Der Hauptstrommotor hat also die Eigenschaft, mit großer Zugkraft anzulaufen.

Zum Anlassen des Hauptstrommotors dient der in Fig. 173 dargestellte Widerstand R.

Nimmt ein Serienmotor während des Anlaufes vorübergehend das Anderthalbfache der normalen Betriebsstromstärke auf, so steigt seine Zugkraft etwa auf den doppelten Betrag der normalen Zugkraft. In der folgenden Tabelle ist für den gewöhnlichen Serienmotor der Zusammenhang zwischen Zugkraft, Umlaufszahl und Leistung zusammengestellt:

Bei dem	2,5	1,8	1,0	0,60	0,30	0,10-fachen der normalen Zugkraft
erhält man das	0,75	0,90	1,0	1,16	1,41	1,92-fache der normalen Tourenzahl
bei dem	1,9	1,6	1,0	0,70	0,43	0,20-fachen der normalen Leistung

Bei vorübergehender Verdoppelung der Stromstärke leistet der Motor erheblich mehr als die doppelte Zugkraft; dabei ist mit Rücksicht auf die Magnetisierungskurven (siehe § 22) zu beachten, daß die Verdoppelung der Stromstärke nicht eine Verdoppelung der Feldstärke zur Folge haben kann. Nur bis zu einer gewissen Grenze ist die Stärke des magnetischen Kraftflusses der magnetomotorischen Kraft proportional. Immerhin wird durch Verdoppelung der Stromstärke eine merkliche Verstärkung des Feldes eintreten. **Da der Serienmotor kräftig, rasch und ohne Stöße auch bei großer Überlastung anzieht, so findet er besonders bei Straßenbahnwagen, Kränen, Aufzügen u. s. w. Verwendung, überhaupt in allen solchen Fällen, wo ruhende und schwer in Bewegung zu setzende Massen angetrieben werden sollen.**

Fig. 173.

3. **Energiegleichung des Hauptstrommotors.** Ist i die Stärke des durch den Anker fließenden Stromes und E_p die Polklemmenspannung oder die Netzspannung, wenn die Zuleitung vom Netz zum Motor sehr geringen Widerstand hat, so ist

$$E_p = E + i\,(w_a + w_m), \tag{44}$$

nachdem der Widerstand des Anlassers ausgeschaltet ist, wobei w_a der Ankerwiderstand und w_m der Widerstand der Magnetspulen ist. Der Energieverbrauch des Motors ist ferner $A = E_p \,.\, i$ Watt.

Der Energieverlust im Anker $= i^2 w_a$ Watt.

" " in den Magnetspulen $= i^2 w_m$ "

Bezeichnet L, wie früher, den Energieverlust durch Lagerreibung u. s. w., so ist

$$E_p i = A = A_n + i^2 (w_a + w_m) + L. \qquad (45)$$

Damit der Energieverlust in den Magnetspulen bei dem normalen Betriebsstrom möglichst gering ausfällt, wird die Magnetwickelung, wie bei den Seriendynamos, mit geringem Widerstande w_m hergestellt. Beim Nebenschlufsmotor ist der Energieverlust in den Magnetspulen von der Leistung des Motors fast unabhängig; beim Serienmotor dagegen nimmt dieser Verlust mit der Leistung des Motors zu.

4. Tourenzahl des Hauptstrommotors und Regulierung derselben. Um die Abhängigkeit der Tourenzahl von der Belastung zu erkennen, haben wir früher (siehe S. 118) darauf hingewiesen, dafs der Anker des Motors bei Belastung und Leerlauf eine solche Tourenzahl annimmt, dafs bei der in ihm induzierten Gegen-E. M. K. $= E$ ein solcher Strom durch den Anker fliefst, dafs gerade die der Bewegung des Ankers entgegenstehenden Widerstände überwunden werden. Stets ist ein Betrieb mit konstanter Spannung vorausgesetzt. Ist der Motor normal belastet, und verringern wir die Belastung, so nimmt die Ankerstromstärke ab, die Gegen-E. M. K. steigt an. Während aber beim Nebenschlufselektromotor bei der Änderung der Belastung die Feldstärke fast konstant bleibt, nimmt beim Serienmotor mit abnehmender Belastung auch die Feldstärke ab.

Wir fanden früher nach der Gleichung (42), dafs die Tourenzahl dem Kraftlinienflufs Φ im Anker umgekehrt proportional ist. Entlastet man den Hauptstrommotor, so nimmt die Stromstärke ab, das Magnetfeld wird schwächer, und daher steigt die Tourenzahl bedeutend an (vergl. Tabelle S. 128). Würde ein Hauptstrommotor plötzlich ganz entlastet, so wird wegen der geringen Feldstärke die Tourenzahl aufserordentlich ansteigen, bei Leerlauf hat der Anker des Serienmotors das Bestreben, durchzugehen. Der Hauptstrommotor ist also nur dort zu verwenden, wo Belastungsschwankungen möglichst vermieden werden. Man verwendet ihn meist in direkter und unlösbarer Kuppelung — nicht in Riemenantrieb — mit den Maschinen, welche er antreiben soll, und auch dann nur, wenn beim Leerlauf der Maschinen noch immer eine ausreichend grofse Leerlaufsarbeit vom Motor zu verrichten ist.

Wird jedoch der Hauptstrommotor überlastet, so steigt die Stromaufnahme und damit auch die Feldstärke. Bei Überlastung läuft der Hauptstrommotor wesentlich langsamer als bei der normalen Belastung (siehe Tabelle auf S. 128).

Auch durch Vorschalten eines Widerstandes r, wie in Fig. 173, wird das gefährliche Anwachsen der Tourenzahl des Hauptstrommotors bei Abnahme der Belastung nicht verhindert. Der Strom i im leer laufenden Motor ist so gering, dafs der Spannungsverlust ir nur klein ausfällt, wenn r nicht einen sehr hohen Betrag hat. Ist r nicht sehr grofs, so unterscheidet sich die Klemmenspannung des Motors nur wenig von der Netzspannung.

Regulierung der Tourenzahl des Serienmotors.

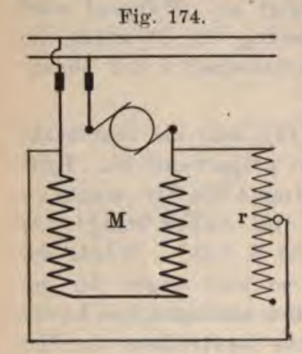
1. Durch vorgeschalteten Widerstand. Die Tourenzahl des belasteten Motors kann man durch Vorschalten von Widerstand, was am einfachsten mit dem Anlasser selbst (nach Fig. 173) geschehen kann, weit unter die normale Umlaufszahl bringen. Ist der Widerstand r dem Motor vorgeschaltet, so hat die Gegen-E.M.K. $= E$ den Wert

$$E = E_p - i(w_a + w_m + r).$$

Wird r vergröfsert, so nimmt E ab, d. h. der Anker nimmt eine geringere Umlaufszahl an, um die erforderliche Gegen-E.M.K. zu erzeugen. Durch passende Vergröfserung von r bei abnehmender Belastung kann man innerhalb eines gewissen Belastungsbereiches immerhin die Tourenzahl konstant halten.

2. Durch den Parallelregulator. Hierbei ist der Magnetwickelung M ein regulierbarer Widerstand r (Fig. 174) parallel geschaltet. Bei der geringsten Tourenzahl soll r abgeschaltet sein, so dafs also der Widerstand des Nebenschlusses zur Magnetwickelung unendlich grofs ist. In diesem Falle fliefst durch den Anker derselbe Strom wie in den Magnetspulen. Wird nun der Nebenschlufs r angelegt, so nimmt derselbe einen Teil des Ankerstromes auf, der nicht mehr zur Erregung der Feldmagnete verwendet wird. Die Stromstärken in der Magnetwickelung und im Nebenschlufs zu ihr stehen im umgekehrten Verhältnis der Widerstände beider. Je kleiner der Widerstand des Nebenschlusses, desto geringer die Feldstärke des Motors und desto gröfser die Tourenzahl des Ankers [siehe Gleichung (42)]. Die Verringerung des Widerstandes des Parallelregulators darf nur bis zu einer gewissen Grenze geschehen, die der höchsten zulässigen Tourenzahl des Ankers entspricht.

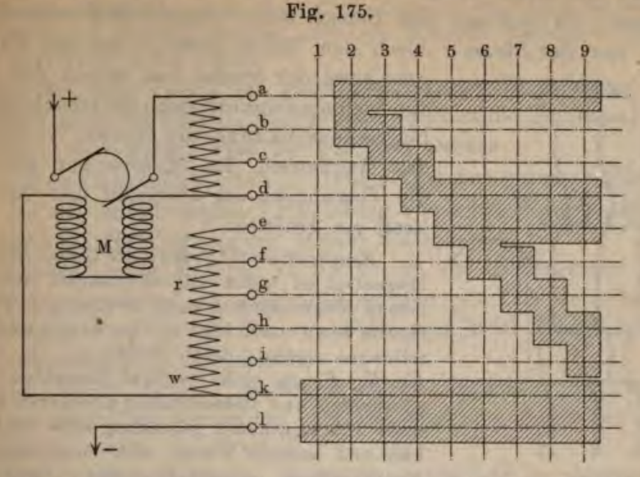
Fig. 174.



Konstruktiv wird die Regulierung meist so ausgeführt, dafs auf einer vertikal stehenden Walze aus Isoliermaterial bestimmt geformte Kontakte vorhanden sind, welche (Fig. 175) in neun Stellungen zu den Kontaktfedern a — l, welche feststehen und vertikal übereinander liegen, gebracht werden können. Die Widerstände von a — d dienen zum Anlassen. In Fig. 175 ist die Oberfläche der drehbaren Walze in eine Ebene abgewickelt, die Kontaktflächen sind schraffiert. Liegt die Walze in der Linie 1 gegen die Kontaktfedern a — l, so geht der Motor an. Wird die Walze gedreht, bis sie mit der Linie 4 gegen a — l liegt, so wird der vorgeschaltete Anl[asser]widerstand stufenweise ausgeschaltet. Von der Stellung 5 ab sind die K[on]taktfedern d und e miteinander verbunden, so dafs der Nebenschlufs r + … zu M parallel geschaltet wird. In Übereinstimmung mit dem oben Be…

erkten kann (bei der Stellung 9) der Widerstand des Parallelregulators cht kleiner als w werden. Durch federnde Klinken wird dafür gesorgt,

Fig. 175.

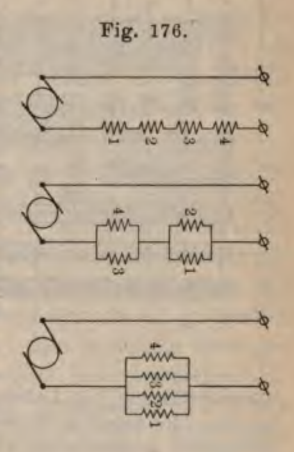


ſs die Walze nur in den Stellungen 1 bis 9 zu den Kontaktfedern steht, le Zwischenstellungen aber unterbleiben.

Gebräuchlicher als diese Regulierung ist diejenige

3. **durch die Umschaltung der Magnetspulen**, welche bei en Straſsenbahnmotoren, Kranmotoren u. s. w. mit dem **Kontroller** sgeführt wird. Wir setzen einen vier- ɔligen Elektromotor mit vier Magnetspulen ɔraus. Die Magnetspulen sind entweder Fig. 176)

Fig. 176.



1. alle vier hintereinander, oder
2. zu zweien parallel geschaltet, oder
3. alle vier parallel geschaltet.

Bei dieser Umschaltung wird freilich er elektrische Widerstand des Motors ge- ndert. Um die Wirkungsweise der drei chaltungen zu vergleichen, wollen wir an- ehmen, daſs in allen drei Fällen die Stärke es durch den Motor flieſsenden Stromes eselbe und zwar gleich i sei. Hat jede Spule Windungen, so ist die Zahl der Ampère- indungen des Feldmagneten

im ersten Falle . . . . $4 . m . i$,

„ zweiten Falle . . . $4 \cdot m \cdot \frac{i}{2} \cdot = 2 m i$

„ dritten Falle . . . . $4 \cdot m \cdot \frac{i}{4} \ = m i.$

Bei der Parallelschaltung der Spulen ist also die Feldstärke am kleinsten, der Anker mufs also in diesem Falle die gröfste Tourenzahl annehmen, um sich auf den Betrag jener Gegen-E.M.K. einzulaufen, bei der nur der Strom i durch den Motor fliefst. Bei der Parallelschaltung der Spulen hat jedoch der Anker die kleinste Zugkraft nach der Gleichung (40). Bei Serienschaltung der Spulen ist dagegen das Magnetfeld des Motors am stärksten, die Tourenzahl am kleinsten und die Zugkraft am gröfsten.

Fig. 177.

Konstruktiv führt man die Umschaltung der Magnetspulen meist folgendermafsen aus: Die beiden Magnetspulen eines zweipoligen Elektromotors seien nach Fig. 177 in drei gleiche Abteilungen zerlegt, deren Enden A_1, A_2, A_3 und E_1, E_2, E_3 zu sechs vertikal übereinander angeordneten und feststehenden Kontakten geführt sind. Den Kontakten gegenüber steht eine vertikale und isolierte Walze, auf deren Oberfläche Kontaktstücke angebracht sind, welche bei Abwickelung der Walzenoberfläche die in Fig. 178 dargestellte Form haben. Mittels einer Kurbel kann die Walze nur in die Stellungen 0 bis 7 zu den feststehenden Kontakten gebracht werden. Der Kontakt A_1 ist mit der

Fig. 178a.

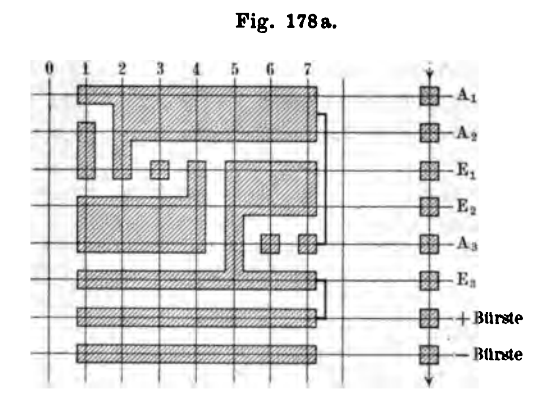
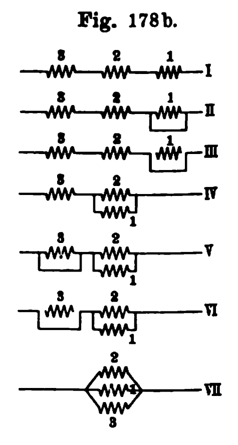


Fig. 178b.



Stromzuführung (+ Leitung) durch den Anlasser, wie in Fig. 173, verbunden; die negative Bürste mit der Stromableitung. Nachdem der Anlafswiderstand ausgeschaltet ist, haben wir bei

Stellung 1: Spulen 1, 2 und 3 in Reihe,
„ 2: Spule 1 kurz geschlossen, 2 und 3 in Reihe,
„ 3: „ 1 ausgeschaltet, 2 und 3 in Reihe,
„ 4: Spulen 1 und 2 parallel und beide mit 3 in Reihe,
„ 5: „ 1 „ 2 „ , 3 kurz geschlossen,
„ 6: „ 1 „ 2 „ , 3 ausgeschaltet,
„ 7: „ 1, 2 und 3 parallel.

Der Vorteil dieser Reguliermethode liegt darin, dafs keine elektrische nergie ohne Nutzen in einem dem Motor vorgeschalteten Widerstande, wie ei 1, verbraucht wird. Von Nachteil ist dagegen die kompliziertere Monage, welche die Legung mehrerer sehr gut isolierter Leitungen vom Konroller zum Motor nötig macht.

Benutzt man neben der hier beschriebenen Regulierung mittels Kontroller auch die unter 1. angegebene, so kann die Tourenzahl innerhalb seines sehr weiten Bereiches geändert werden.

4. Regulierung durch Umschalten der ganzen Motoren. Diese bei der gleichzeitigen Verwendung von zwei Motoren sehr wertvolle Methode der Regulierung besteht darin, dafs

entweder beide Motoren in Reihe an ein Leitungsnetz mit der konstanten Spannung E_p geschaltet werden, so dafs derselbe Strom nacheinander durch beide Motoren fliefst und jeder derselben mit der Betriebsspannung $^1/_2\ E_p$ arbeitet,

oder beide Motoren zwischen den Hauptleitungen des Netzes arallel geschaltet werden, so dafs für jeden die Spannung E_p zur erfügung steht.

Ist i die Stromstärke im Motor im ersten wie im zweiten Falle, läuft sich der Anker im ersten Falle ein auf die

$$\text{Gegen-E.M.K.} = E_p/2 - i.(w_a + w_m),$$

 zweiten Falle auf die

$$\text{Gegen-E.M.K.} = E_p - i(w_a + w_m).$$

Im zweiten Falle ist die Gegen-E.M.K. fast doppelt so grofs als ersten, und dementsprechend ist nach der Gleichung (42)[1]) auch e Tourenzahl bei der Serienschaltung etwas weniger als die Hälfte rjenigen bei der Parallelschaltung. Jedem Motor ist aufserdem, wie ter 1., noch ein regulierbarer Widerstand vorgeschaltet.

Um den meistens nicht unbeträchtlichen Teil an Energie, der bei nwendung nur eines Motors in einem vorgeschalteten Regulierwiderande nutzlos in Wärme verwandelt wird, in nutzbare Energie zu rwandeln, kann man ebenfalls zwei Motoren in Serie schalten. Auch it Nebenschlufsmotoren ist diese Schaltung ausführbar, wenn die ebenschlufswicklungen beider Motoren entweder in Serie geschaltet er einzeln an das Netz angeschlossen sind. Die beiden in Serie gehalteten Motoren vermögen dann bei demselben Energieaufwand anhernd doppelt so viel zu leisten wie bei Verwendung nur eines otors mit vorgeschaltetem Widerstande (vergl. Geyer, Elektrische raftübertragung an Bord. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellhaft. III. Band, 1902. S. 125 u. ff.).

Diese Methode der Regulierung erlaubt bei den Motoren der elektrihen Bahnen durch die Serienschaltung ein langsames Anfahren mit grofser

---

[1]) Diese Gleichung gilt auch für Serienmotoren, wenn an die Stelle von die Summe $w_a + w_m$ gesetzt wird.

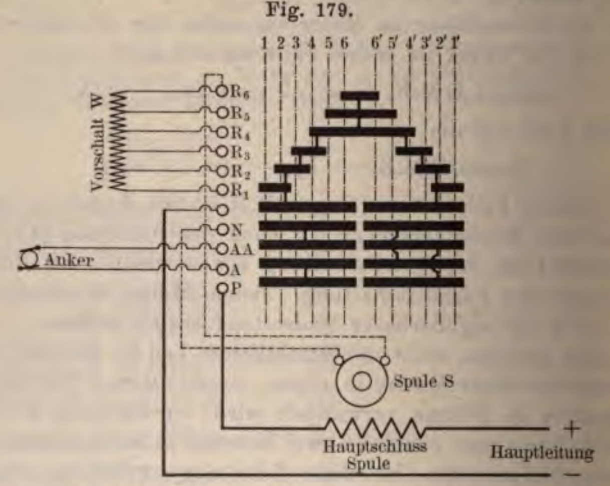
Zugkraft und ferner auf Strecken, die nur langsam durchfahren werden dürfen, eine Fortbewegung mit der halben Geschwindigkeit. Beim Schnellfahren werden die Motoren parallel geschaltet.

Geyer (vergl. l. c.) hat diese Schaltungsweise für den Spillbetrieb auf S. M. S. „Ägir" vorgeschlagen. Zum Ausbrechen des Ankers aus dem Meeresboden sind die Motoren in Reihe geschaltet, zum Aufwinden bedarf es einer geringeren Zugkraft, und die Motoren arbeiten dann in Parallelschaltung. Auch für die schweren Boots-Heifsmaschinen an Bord wird diese Schaltung in Vorschlag gebracht. In Rücksicht auf die Raum- und Gewichtsverhältnisse können beide Anker in einen vereinigt werden, so dafs sich ein Doppelmotor mit zwei Kollektoren ergibt, von denen der eine rechts, der andere links vom Motor liegt und die für den Anzug in Serie, dagegen für den freien Hub parallel geschaltet arbeiten.

Hauptstrommotoren mit Marine-Kontroller der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Die Einrichtung des Kontrollers und die Verbindung desselben mit der Leitung und dem Motor ergibt sich aus Fig. 179. Die Kontakte P bis R_6 stehen fest. Die Kontrollerwalze ist abgewickelt dargestellt. Wird die Walze

Fig. 179.



in den Stellungen 1 bis 6 gegen die Kontakte gestellt, so wird allmählich der Vorschaltwiderstand ausgeschaltet. Ebenso für die Stellungen 1' bis 6'; bei dieser Bewegung läuft der Anker aber in entgegengesetzter Richtung. Die Walze kann nur von 1 nach 6 und zurück, oder von 1' nach 6' und zurück bewegt werden. Zum Ausblasen der beim Umschalten der Walze entstehenden Funken bringt man die Kontaktstellen P bis R_6 zwischen die Pole eines Magneten, der durch die Spule S kräftig erregt wird. Der Funken verhält sich dabei wie der in § 19 betrachtete Stromleiter im magnetischen Felde.

Die in Fig. 178 beschriebenen Kontroller finden Anwendung bei d elektrischen Deckkränen an Bord des Reichspostdampfers „Breme des Norddeutschen Lloyd (Fig. 180). Bei diesen Kränen ist das a einem eingängigen Globoidschneckengetriebe bestehende Hubwerk m

m Hauptstrommotor (25 P.S., 900 Touren) starr gekuppelt, der geringerer Belastung eine entsprechend höhere Tourenzahl des ers hat, bis zum $2^1/_2$ fachen Betrage bei leerem Haken.

Der Motor für das Drehwerk (Drehmotor) 7 P.S. bei 700 Umungen arbeitet mit doppelgängigem Schneckengetriebe und daraufender Zahnradübersetzung.

Beide Motoren (siehe Fig. 192) sind vollkommen wasserdicht gekapselt, Kollektoren sind nach Aufklappung von Schraubendeckeln zugänglich.

Infolge Selbstsperrung bei ruhender Last wird die auf der verlängerten rachse sitzende, mit Holz ausgefütterte Bandbremse lediglich zum Ab-

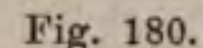


Fig. 180.



n der Last bei stromlosem Motor benutzt. Das sofortige Anhalten der maximaler Geschwindigkeit ablaufenden Last geschieht durch sanften k auf die Fufsplatte der Bremse.

Für jeden Motor ist einer der vorhin beschriebenen Kontroller vorlen. Beide Kontroller und somit beide Motoren werden durch einen

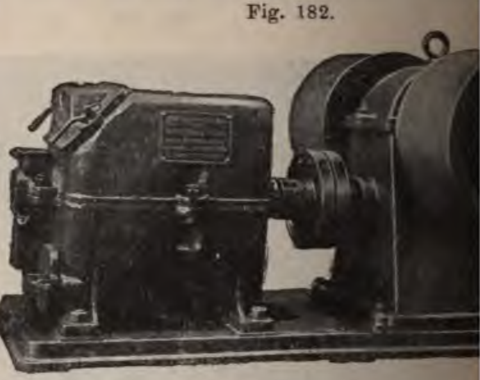
einzigen Hebel gesteuert in der Art, dafs durch Ablenkung des hor
gelagerten Hebels aus seiner fixierten Mittelstellung die Bewegungen de
hakens genau vorgeschrieben sind. Fig. 181 zeigt diesen Marinekon
mit Universalsteuerung. Wird der Hebel de
trollers gehoben, so geht die Last aufwärts
er gedrückt, so geht die Last abwärts. Bewe
den Hebel in der Diagonale, so wird die La
gleichzeitiger Drehung des Kranes aufgehoben

Fig. 181.



Aus besonderen Gründen (gleiche Reser
für alle Kräne, Erleichterung der Monta
für alle Kräne, die entweder für 3000 kg

Fig. 182.



1500 kg konstruiert sind, dieselbe elektrische Ausrüstung gewählt. Fü
Kräne gelten folgende Daten:

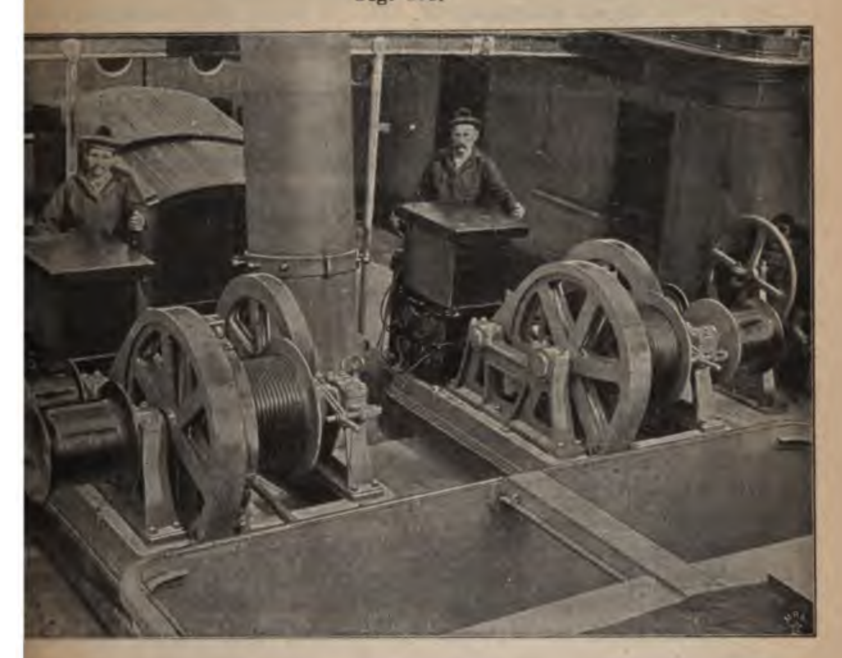
Nutzlast	3000 kg	1500 kg
Ausladung	5,5 m	5,5 m
Hubgeschwindigkeit bei voller Last	0,33 m	0,63 „
„ „ Leerlauf	0,6 — 0,75 m	1,1 — 1,3
Hubmotor	25 P.S. 900 Touren	25 P.S. 900 To
Drehgeschwindigkeit im Haken	4 m in der Sek.	4 m in der S
Drehmotor	7 P.S. 700 Touren	7 P.S. 700 To
Nutzeffekt des gesamten bewegten Kranes einschliefslich Motor	52 Proz.	—

Fig. 182 stellt eine Kohlenwinde dar, die durch einen 15 P
Gleichstrommotor angetrieben wird, wobei ebenfalls der Mar
kontroller zur Anwendung kommt.

In Fig. 183 sind die Schiffswinden an Bord des Reichsp
dampfers „Prinz Heinrich" des Norddeutschen Lloyd dargestellt.
Anlassen und die Regulierung erfolgt durch einen dem Motor
geschalteten Widerstand.

Für die meisten Anwendungen reicht, je nach den Anforderungen, ein
rienmotor oder ein Nebenschlufsmotor aus, die denn auch die weiteste
rwendung gefunden haben. Wir übergehen daher die Besprechung der
mpoundmotoren.

Fig. 183.



§ 54. **Betriebsverhältnisse und Prüfung der Elektro-
notoren.** Bei der Prüfung handelt es sich zunächst um die Leistung
es Motors. In Bezug auf letztere können nach dem vom Verbande
eutscher Elektrotechniker probeweise aufgestellten Normalien folgende
rten des Betriebes unterschieden werden:

1. Der intermittierende Betrieb, bei dem auf kurze, nach
inuten zählende Arbeitszeiten ebenso lange Ruhepausen folgen (Mo-
ren für Kräne, Aufzüge u. s. w.).

2. Der kurzzeitige Betrieb, bei welchem die Arbeitszeiten
nger sind als beim intermittierenden Betriebe, jedoch noch zu kurz,
s dafs der Motor die zulässige Endtemperatur erreicht. Die Ruhe-
usen sind lang genug, damit die Temperatur wieder annähernd auf
e der Umgebung sinken kann.

3. Der Dauerbetrieb, bei welchem die Arbeitszeit so bemessen
t, dafs die Erwärmung bis zu der zulässigen Endtemperatur er-
lgt.

Unter normalen Verhältnissen und bei einer Lufttemperatur unter 35° C. dürfen die folgenden Werte der Temperatursteigerung bei isolierten Wickelungen und Kollektoren nicht überschritten werden:

bei Baumwollisolierung . . . . 50° C.
„ Isolierung durch Glimmer, Asbest und ähnlichen Materialien . . . . 80° C.

Bei ruhenden Wickelungen sind noch um etwa 10 Proz. höhere Werte zulässig.

Unter der normalen Leistung des Motors bei intermittierendem Betriebe versteht man diejenige, welche der Motor während eines einstündigen ununterbrochenen Betriebes hervorbringen kann, ohne dafs die vorher angegebene Temperaturzunahme erreicht wird.

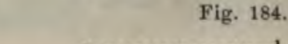
Als normale Leistung des Motors für kurzzeitigen Betrieb gilt diejenige, welche er für die auf dem Leistungsschilde vermerkte Betriebszeit abgeben kann, ohne dafs die Erwärmung die oben angegebenen Grenzen überschreitet.

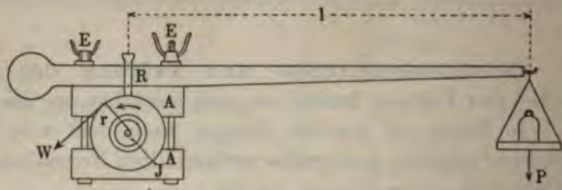
Die normale Leistung eines Motors für Dauerbetrieb ist diejenige, welche während beliebig langer Betriebszeit hervorgebracht wird, ohne dafs die Temperaturzunahme gröfser ist als oben angegeben.

Das am Motor angebrachte Leistungsschild soll neben der Angabe der mechanischen Leistung in P. S. die hierbei berücksichtigte Betriebsart enthalten, ferner Angaben über die normale Spannung, Stromstärke und Tourenzahl.

Die Leistung der kleineren Motoren wird entweder mit dem Bremsbande oder mit dem Pronyschen Zaun (Fig. 184) ermittelt.

Fig. 184.





Zu diesem Zwecke wird auf die Welle eine Bremsscheibe gebracht, gegen welche die Bremsbacken $A - A$ aus Holz sich legen, die durch Bolzen verbunden sind und mit den Schrauben $E - E$ an die Scheibe geprefst werden können. Der obere Bremsklotz trägt einen Hebel, an dessen Ende eine Schale zur Aufnahme von Gewichten sich befindet.

Man läfst den Motor bei der vorgeschriebenen Betriebsspannung laufen und zieht die Schrauben so weit an, bis der Anker die vorgeschriebene Tourenzahl macht, was durch wiederholt vorgenommene Messungen ermittelt wird. In der Hauptleitung, sowie eventuell in dem Nebenschlusse sind Strommesser eingeschaltet. Je nach der oben erwähnten Betriebsart mufs die Dauer der Untersuchung gewählt werden, bei Dauerbetrieb wird meistens ein sechsstündiger Probe-

rieb ausreichen. Durch das Rohr R läſst man schwache Seifen-
ıng flieſsen. Das folgende Beispiel zeigt die Verwertung der bei
ser Methode erhaltenen Daten.

Der totale Wirkungsgrad eines Nebenschluſselektromotors wurde mit
n Pronyschen Zaun bestimmt. Die Klemmenspannung des Motors war
$= 115$ Volt und der Stromverbrauch $i = 45$ Ampère. Der Anker machte
$= 900$ Umdrehungen in der Minute, wenn der Hebel des Pronyschen
uns am Ende mit $P = 3{,}81$ kg belastet war. Die Länge des Hebelarmes
r $l = 1{,}2$ m. Vor der Belastung war der Pronysche Zaun auf der stehen-
Riemenscheibe ausbalanciert.

$W =$ Reibungskraft am Umfange der Riemenscheibe, deren Radius r.
bungsarbeit in der Sekunde $= \frac{W \,.\, 2 r \pi n}{60}$ mkg. Ist der Zaun im Gleich-
richt, so haben wir ferner

$$W \,.\, r = P \,.\, l, \quad \text{also} \quad W = \frac{P \,.\, l}{r}.$$

Die vom Motor verbrauchte Energie ist ferner

$$\frac{E_p \,.\, i}{736} \text{ P.S.}$$

Demnach wird der Wirkungsgrad des Motors

$$n = 1{,}03 \frac{P l n}{E_p i} = 0{,}819.$$

Nach dieser Methode kann der Wirkungsgrad für verschiedene
astungen ermittelt werden.

Die Temperatur des Ankers wird gleich nach dem Ausschalten
Motors meistens durch ein Thermometer gemessen, welches mit etwas
nniolumhüllung dicht an die Wickelung gepreſst wird, wobei man
rch eine Schicht von trockener Baumwolle die Ausstrahlung der
irme zu vermindern sucht. Die Ablesung der Temperatur erfolgt
t, wenn das Thermometer nicht mehr steigt. Die Messung der
nperaturzunahme der Magnetspulen bei dem in Rücksicht gezogenen
riebe geschieht durch Messung der Widerstandszunahme (siehe S. 24),
bei es ausreicht, den Temperaturkoeffizienten des Kupfers gleich
04 zu nehmen. Für alle übrigen Teile des Motors, mit Ausnahme
Magnetspulen, dienen zur Temperaturmessung Thermometer. Alle
den praktischen Betrieb vorgesehenen Umhüllungen des Motors
rfen während des Probebetriebes nicht abgeändert oder beseitigt
rden.

Bei der Prüfung der Motoren ist auch besondere Aufmerksamkeit
die Bildung der Funken am Kollektor zu richten.

§ 55. Behandlung der Motoren und Bedienung der Anser. Über die Behandlung der Motoren gilt der Hauptsache nach
selbe, was über die Behandlung der Dynamos (vergl. § 113 u. ff.)
geschrieben ist.

Bei konstanter Belastung des Motors werden die Bürsten ent-
en der Drehungsrichtung des Ankers aus der neutralen Zone in

diejenige Stellung gebracht, wo die Funkenbildung am Kollektor am geringsten ist oder ganz unterbleibt. Dies ergibt sich leicht aus den Betrachtungen des § 45, wenn man bedenkt, dafs der Strom im Anker des Motors entgegengesetzt fliefst wie in dem der Dynamo (vergl. § 52). Die Magnetisierung des Ankers ändert sich mit der Stromstärke im Anker, und daher müfste bei jeder Änderung der Belastung zur Erhaltung des funkenlosen Ganges eine Veränderung der Bürstenstellung vorgenommen werden. In solchen Betrieben, wo Belastungsschwankungen schnell aufeinander folgen, sucht man die Funkenbildung durch Anwendung von Kohlebürsten zu vermindern, die überhaupt bei Motoren für Bahnen, Hebezeuge und ähnliche Betriebsverhältnisse ausschliefslich Anwendung finden. Dabei werden die Bürsten in die neutrale Achse des magnetischen Feldes des Magneten eingestellt. Da die Drehungsrichtung des Ankers bei den genannten Betrieben wechselt, so ist eine Funkenbildung bei der Einstellung in die neutrale Zone überhaupt nicht ganz zu vermeiden.

Das Einschalten des Motors mit dem Anlasser soll langsam erfolgen, weil bei einer schnellen Bewegung der Kurbel des Anlassers an den Kontaktstücken desselben, ebenso auch am Kommutator Funkenbildung eintritt. Beim zu schnellen Einschalten des Motors entsteht auch im Netze infolge des hohen Stromverbrauches eine starke Spannungsschwankung. Beim Ausschalten des Motors wird die Kurbel des Anlassers rasch in die Anfangsstellung zurückgeführt.

Sind die Kontakte der Widerstände (siehe S. 151) einstellbar, so ist darauf zu achten, dafs sie stets in der richtigen Folge aufeinander geschlossen werden. In diesem Falle sollen auch stets Kontaktstücke zum Ersatz zur Hand sein.

Nur wenn der Anlafswiderstand ausdrücklich für Dauereinschaltung (siehe S. 124) angefertigt ist, darf der Schalthebel auf einer Zwischenstellung zwischen Anfangs- und Endlage festgestellt werden. Ist die Dauereinschaltung nicht vorgesehen, so werden die Widerstandsspiralen des Anlassers bei einer Zwischenstellung des Schalthebels verbrennen. Der Schalthebel des Anlassers soll sauber auf den Kontakten aufliegen. Die Kontaktstücke und die isolierenden Zwischenschichten sind von Zeit zu Zeit sorgfältig zu reinigen, die Schraubenverbindungen der Leitungen nach dem Netze und dem Motor, sowie der Widerstandskörper an den Kontaktstücken sind öfters nachzusehen und erforderlichenfalls anzuziehen. Die Anlasser sollen gegen Feuchtigkeit und Schmutz geschützt sein.

Über die Flüssigkeitsanlasser siehe S. 154.

§ 56. Beschreibung spezieller Elektromotoren. Die Motoren für den Betrieb von Winden, Kränen u. s. w. auf den Schiffen sollen nach aufsen abgeschlossen sein, so dafs sie vollkommen gegen eindringende Feuchtigkeit geschützt sind. Überhaupt ist es zweckmäfsig

den Motoren solche Magnetgestelle zu verwenden, bei denen die pfindlichen Teile geschützt liegen. Die vollständig mit einem Eisenntel umschlossenen Motoren haben auf Schiffen aufserdem den Vorl kleinster magnetischer Streuung und damit sehr geringer Beeinssung des Kompasses. Bei diesen eisengeschlossenen Motoren kann loch leicht infolge mangelhafter Lüftung eine sehr hohe Erwärmung treten, und nach längerem Betriebe erfolgt die Abkühlung nur sehr gsam. Läfst man die Stirnverbindungen der Ankerleiter möglichst i und luftig liegen, und bringt man besondere Lüftungskanäle in ialer und radialer Richtung im Ankerkern an, so läfst sich auch in engeschlossenen Motoren bei längerem Betriebe die Temperatur ter der vorgeschriebenen Grenze (vergl. § 54) halten.

1. Elektromotoren von Siemens u. Halske, A.-G., Berlin.

Die Gleichstrommotoren, Modell G M b (Fig. 185), besitzen ein fast ganz chlossenes kräftiges Stahlgehäuse, das die inneren Teile vor mechanischen schädigungen schützt. Die beiden gerdeckel sind mit Ventilationsnungen versehen, und die Bürstenter treten durch zwei seitliche nungen aus dem Gehäuse heraus.

Fig. 185.

Die Motoren sind sehr gengen gebaut, und ihre Verwenng empfiehlt sich besonders bei beränkten Raumverhältnissen. Die ger sind mit Ringschmierung veren. Da die Lagerschilder in schiedenen Stellungen am Gese befestigt werden können, so n auch die Befestigung der Moen an der Decke und an senkhten Flächen geschehen.

Erforderlichenfalls kann das häuse ganz dicht abgeschlossen rden, so dafs die inneren Teile vollkommen gegen Nässe und Staub geützt sind. Dabei werden die Ventilationsöffnungen durch Bleche verlossen und die Öffnungen für die Bürstenträger durch Schutzkästen bedeckt.

Die Gleichstrommotoren, Modell PUA (Fig. 186, a. f. S.), besitzen vollständig abgeschlossenes Gehäuse, das Anker- und Magnetwickelungen en mechanische Verletzungen und gegen Eindringen von Staub, Tropfl Spritzwasser schützt. Beide Lagerschilder sind als völlig geschlossene, ftige Gufskappen ausgeführt. Der Kommutator ist durch zwei an jeder te angeordnete Verschlufskappen zugänglich. Die Anschlufskabel sind ch fest anschliefsende Gummidurchführungen zu den Bürsten geleitet. Lager sind mit Fettschmierung versehen.

Im Nachfolgenden ist eine Zusammenstellung der Gleichstrommotoren, dell GMb und PUA, für intermittierenden Betrieb gegeben. Die Leigen der hier angeführten Motoren, welche auch für die Spannungen Volt und 500 Volt konstruiert werden, gelten für den Fall, dafs jeder riebszeit des Motors eine mindestens gleich lange Pause folgt, während cher der Motor völlig ausgeschaltet ist, und dafs ein ununterbrochener

Betrieb von mehr als fünf Minuten Dauer nicht vorkommt. Die Erwärmung dieser geschlossenen Motoren ist für beide Betriebsarten höher, als für offene Motoren in der Regel zugelassen wird, jedoch nicht so hoch, dafs die Isolation der Wickelungen gefährdet wird. Soll die Betriebsdauer ohne Unter-

Fig. 186.

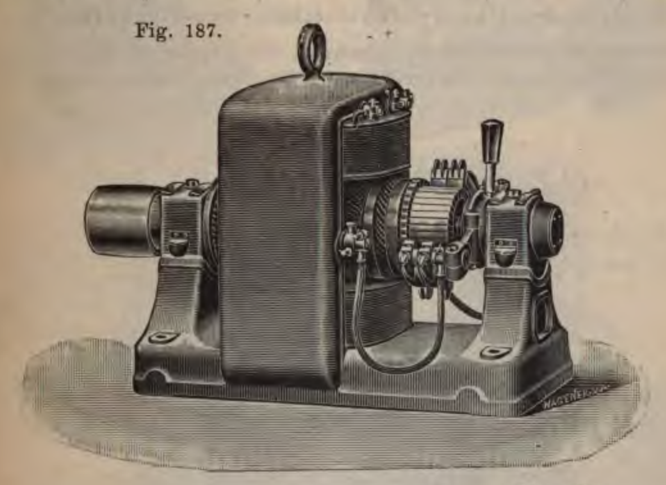


brechung auf mehr als sechs Stunden ausgedehnt werden, oder soll die Erwärmung die bei offenen Motoren übliche nicht übersteigen, so ist eine wesentliche Herabsetzung der Leistungen erforderlich; der Wirkungsgrad der Motoren ist dann entsprechend geringer.

Modell	Gewicht ohne Riemenscheibe		für 110 oder 220 Volt		
	netto kg	brutto kg	Leistung P. S.	Drehmoment mkg	Touren pro Minute
			Nebenschlufsmotoren.		
G M b 6	85	104	1,25	1,00 0,85	900 1050
G M b 7	130	160	2,25	1,85 1,58	870 1020
G M b 8	190	220	3,25	2,77	840
G M b 9	260	305	4,5	3,96	810
G M b 10	335	400	6,5	6,12	760
G M b 11	450	515	10	9,40	760
G M b 12	590	700	13	12,20	760
h P U A 15/20 . .	955	1150	22	28,1	560
h P U A 15/30 . .	1200	1475	34	43,5	560
h P U A 18/26 . .	1760	2050	48	68,8	500

Modell	Gewicht ohne Riemenscheibe		für 110 oder 220 Volt		
	netto kg	brutto kg	Leistung P. S.	Drehmoment mkg	Touren pro Minute
			Hauptstrommotoren.		
Mb 6	85	104	1,25	1,06 0,89	840 1000
Mb 7	130	160	2,25	1,96 1,64	820 980
Mb 8	190	220	3,75	3,35	800
Mb 9	260	305	5	4,59	780
Mb 10	335	400	7	6,96	720
Mb 11	450	515	11	10,95	720
Mb 12	590	700	15	14,90	720
PUA 15/20 . .	955	1150	24	32,4	530
PUA 15/30 . .	1200	1475	36	48,6	530
PUA 18/26 . .	1760	2050	51	76,0	480

Fig. 187.



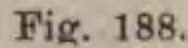
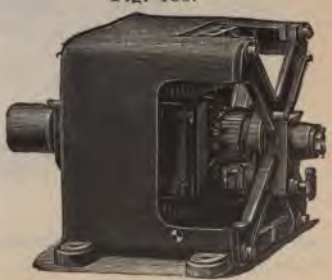


Fig. 188.



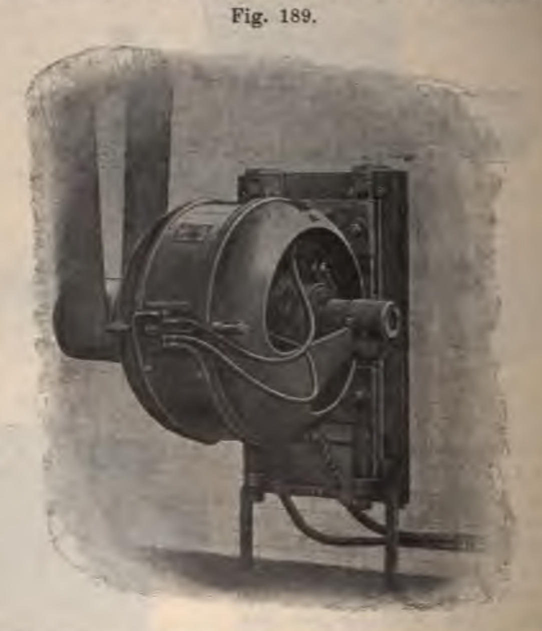
Gleichstrommotoren, Modell FA (Fig. 188) und GA (Fig. 187), mit veränderlicher Tourenzahl. Auf diese ist bereits auf S. 120 hingewiesen. Diese Motoren eignen sich zum Antrieb von Maschinen, die je nach der zu verrichtenden Arbeit bald schnell, bald langsam laufen müssen. Der Wirkungsgrad des Motors hat für alle Geschwindigkeiten möglichst denselben hohen Wert.

Modell	für 110 oder 220 Volt		
	Leistung P. S.	Wirkungsgrad etwa Proz.	Touren pro Minute
F A 8/13	1,5	75	900—1800
F A 8/18	2	76	900—1800
G A 9	3	77	840—1680
G A 10	4	78	790—1580
G A 11	5	79	740—1480
G A 12	6	80	690—1380
G A 13	8	81	625—1250
G A 17	10	82	600—1200
G A 18	13	83	550—1100
G A 20	18	84	480—960
G A 22	24	85	440—880
G A 24	32	86	400—800

2. Motoren der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Die Gleichstromelektromotoren werden für stationären Betrieb und für Traktionszwecke gebaut. Die ersteren werden ihren Leistungen und den

Fig. 189.

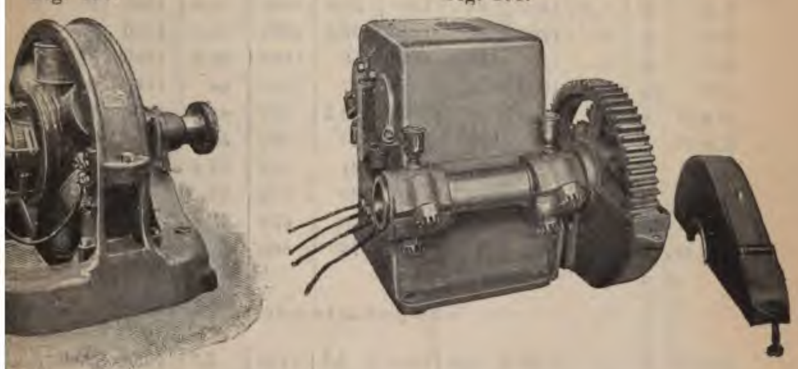


sonderen Anforderungen einzelner Betriebe entsprechend in folgenden verschiedenen Typen hergestellt:

ype E, Kleinmotoren, für geringe Leistungen.
ype RK (Fig. 189) und RKN mit rundem, kapselartigem Gehäuse und Lagerschilden; für mittlere Leistungen.
ype RKW und RKNW mit rundem, kapselartigem Gehäuse und Lagerschilden, deren Öffnungen wasserdicht geschlossen sind; für mittlere Leistungen.
ype MP und MPN mit rundem, offenem Gehäuse; für mittlere und grofse Leistungen.
ype MPL mit rundem Gehäuse und Lagerschilden, für kleine und mittlere Leistungen; sehr langsam laufend.
ype WD mit geteiltem, kastenartigem, wasserdicht geschlossenem Gehäuse, ausschliefslich als Hauptstrommotoren.

'ig. 189 stellt einen Motor der Type RK und RKN mit Nebenschlufsung dar. Der Anker liegt geschützt innerhalb des Feldgehäuses.

Fig. 190. Fig. 191.



Drehen der Lagerschilde um 90° bezw. 180° lassen sich die Motoren veiteres als Wand- oder Deckenmotoren verwenden. Die Lager besitzen hmierung. Die Stromzug erfolgt durch Kohlen. Diese Motoren können ls wasserdicht und staubgeschlossene Motoren gewerden, für die Normalungen 110, 220 und 500

Fig. 192.



n der nachfolgenden Ta-a. f. S.) ist eine Zusammeng der wichtigsten Daten Motoren gegeben.

'ig. 190 stellt einen Gleichlektromotor der Type ar.

)ie gekapselten Gleichstrommotoren der Type WD (Fig. 191) eignen 'egen ihres hohen Anzugsmomentes und ihrer relativ geringen Umgszahl bei gedrungenem Bau besonders zum Antrieb von Kranen, ebühnen, Aufzügen u. s. w. Die obere Hälfte ist entweder abzun oder wie bei dem WD 24 — 300 an Scharnieren aufklappbar, um das nehmen des Ankers zu gestatten. Am oberen und unteren Gehäuse-

Bezeichnung				Strombedarf und Umdrehungszahl bei Volllast und						Wirkungsgrad in Prozenten bei Belastung		
				110 Volt		220 Volt		500 Volt				
Type	Polzahl	P. S.	Umdrehungen in der Minute	Ampère	Umdreh. i. d. Minute	Ampère	Umdreh. i. d. Minute	Ampère	Umdreh. i. d. Minute	1/1	3/4	1/2
					Schnelllaufend.							
RKN	4	3	1700	25	1700	12,5	1700	5,5	1950	80	76	68
RK	4	5	1500	41	1500	20,5	1500	9	1700	81,5	77,5	71
RK	4	7,5	1300	61	1300	30,5	1300	13,4	1500	83	81,5	74,5
RK	4	10	1200	79	1200	39,5	1200	17,4	1350	85	83	77
RK	4	15	1100	116	1100	58	1100	25,6	1250	86	84	79,5
RK	4	20	1000	154	1000	77	1000	34	1150	87	85,5	81,5
RKN	4	25	900	191	900	95,5	900	42	1000	88	86	82,5
RKN	4	30	800	226	800	113	800	50	880	89	87	83,5
RKN	4	35	750	262	750	131	750	57,5	825	89,5	87,5	84
RKN	4	45	700	335	700	168	700	74	775	90	88,5	85
RKN	6	60	650	445	650	223	650	98	650	90,5	88,5	86
RKH	6	75	600	555	600	276	600	122	600	91	90	87,5
					Langsamlaufend.							
RKN	4	2	1100	16,8	1100	8,5	1100	3,7	1250	79,5	75,5	67
RK	4	3	950	24,5	950	12,3	950	5,4	1100	81,5	78	72
RK	4	5	900	41	900	20,5	900	9	1025	83	82	75
RK	4	7,5	850	59	850	29,5	850	13	950	85	83,5	78
RK	4	10	800	77	800	38,5	800	17	900	86	84	80
RK	4	15	700	116	700	58	700	25,5	800	87	85,5	81,5
RKN	4	20	660	153	660	76,5	660	33,5	750	88	86	83
RKN	4	25	630	188	630	94	630	41	715	89	87	84
RKN	4	30	580	224	580	112	580	49	660	89,5	87,5	84,5
RKN	4	35	540	260	540	130	540	57,5	610	90	88,5	85
RKN	6	50	510	368	510	184	510	81	510	90,5	89	87
RKN	6	65	450	480	450	240	450	106	450	91	90	88

teil sind durch leicht lösbare Deckel wasserdicht verschlossene Öffnungen vorgesehen, welche den Kollektor und die Bürsten zugänglich machen. Die WD-Motoren haben durchweg Kohlebürsten. Sie sind ohne weiteres reversierbar. Der Motor wird, unter Fortfall von Wendegetrieben für jede Bewegung, direkt mit dem zugehörigen Triebwerk starr gekuppelt. Fig. 192 zeigt einen Hauptstrommotor Type WD 16 — 600 mit Vorgelege, wobei das grofse Zahnrad und der Zahnradschutzkasten abgenommen sind.

Fig. 193 auf Seite 149 zeigt einen geöffneten Hauptstrommotor Type WD 16 — 600 mit Vorgelege.

Bezeichnung des Motors	Leistung	Kraftbedarf in KW	Gebremstes Drehmoment in mkg	Ohne Vorgelege			Mit Vorgelege		
				Umdrehungen in der Minute	Gewicht		Umdrehungen in der Minute	Gewicht	
	P. S.				netto kg	brutto kg		netto kg	brutto kg
W D 2 — 750	2,5	2,25	2,24	800	140	170	154	190	230
W D 5 — 400	5	4,64	6,82	525	250	280	127	300	350
W D 7 — 700	7	6,34	6,48	775	250	280	187	300	350
W D 8 — 400	8	7,36	14,35	400	310	350	93	375	425
W D 12 — 700	12	10,7	9,80	875	310	350	205	375	425
W D 16 — 600	16	14,5	15,25	750	500	560	129	680	750
W D 18 — 350	18	16,2	32,20	400	680	740	84	900	980
W D 26 — 450	26	23	34,50	540	680	740	113	900	980
W D 24 — 200	24	22	68,70	250	1250	1325	72	1475	1600
W D 35 — 275	35	33	74,00	340	1250	1325	97	1475	1600
W D 52 — 450[1]	52	45	70,30	530	1250	1325	151	1475	1600

[1]) Die Motoren W D 52 — 450 werden nur für Spannungen von 220 und 500 Volt, alle übrigen für 110, 220 und 500 Volt gebaut. — Die Motoren werden normal mit Hauptstromwickelung geliefert.

3. Gleichstrommotoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Modell NG und NSG (Fig. 194 und 195).

Im Nachfolgenden ist eine Zusammenstellung einiger dieser Motoren gegeben, die übrigens sämtlich für die Spannungen 65, 105, 210, 440 und 500 Volt geliefert werden.

Größe	Spannung	Stromstärke	Gesamtverbrauch in Watt	Tourenzahl	Leistung in P. S.
NG 15	65	29		1600	2
	105	18	1890	1400	2
	210	9		1400	2
NG 25	65	49		1250	3,5
	105	30	3170	1120	3,5
	210	15,3		1120	3,5
	65	34	2210	600	2,25
	105	16,5	1735	550	1,75
	210	8,3	1750		
NG 50	105	61	6500	1060	
	210	31		1080	7,5
	440	15	6600	1080	
NG 75	65	126	8050	970	9,5
	105	76,5	8050	880	9,5
	210	38,5	8050	880	9,5
	440	19	8300	900	9,5
	500	16,5	8300	980	9,5
	65	81	5265	480	6
	105	40	4200	420	4,5
	210	20	4200	420	4,5
NG 100 . . .	105	102	10700	770	12,5
	210	51	10700	770	12,5
	105	53	5570	360	6,5
NG 125 . . .	105	131	13750	780	16,5
	210	65,5	13750	770	16,5
	105	67	7035	400	8,25

In Fig. 195 ist ein geschlossener NG-Motor dargestellt.

Fig. 193.

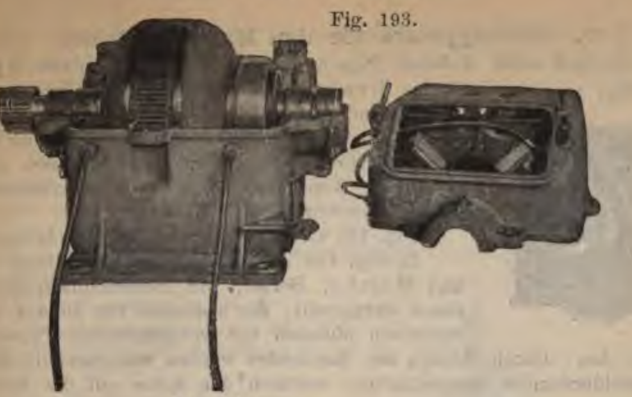


Fig. 194.

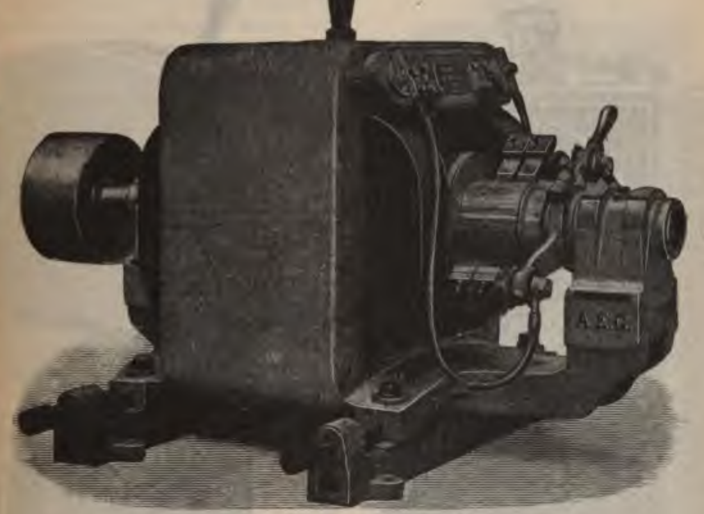
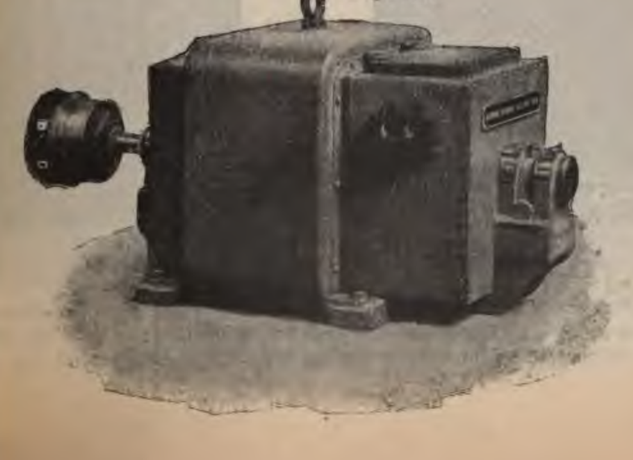


Fig. 195.



§ 57. Hülfsapparate für den Motorenbetrieb.

Anla
Fig. 196 stellt einen Anlasser Type A und Fig. 197 einen Anlasser Type
Firma Siemens und Halske, A.-G., Berlin, dar.
selben sind für Betriebe geeignet, welche nich
sehr häufiges Aus- und Einschalten des Motors erfo
Für Tourenregulierung sind diese Anlasser nicht
wendbar. Kontaktplättchen und Kontaktbürste
leicht auswechselbar.

Fig. 196.



Fig. 198 stellt einen geschlossenen Anlasser

In Fig. 199 ist ein Anlasser der Firma Sie
und Halske, Berlin, mit Nebenschlufsregulier
stand dargestellt, der besonders für die auf S. 1
handelten Motoren mit veränderlicher Tourenza
stimmt ist. Durch Drehen des Handrades werden zunächst die Stufe
Anlafswiderstandes ausgeschaltet, wodurch der Motor auf die kleiner

Fig. 197.

Fig. 198.

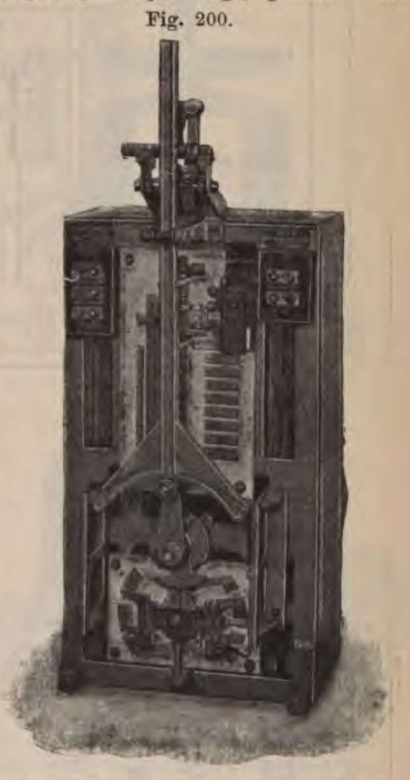
Fig. 199.

beiden Tourenzahlen gebracht wird. Durch weiteres Drehen des Hand
werden die Stufen des Regulierwiderstandes eingeschaltet, so dafs die To
zahl bis auf das Doppelte erhöht werden kann. Der Anlasser ist für A

unter voller Last, aber nicht für dauernde Einschaltung bemessen, darf also auch nicht durch Hauptstromregulierung (siehe S. 124) dazu benutzt werden, um die Tourenzahl noch unter die kleinere der auf S. 144 angegebenen Tourenzahlen zu bringen.

Bisweilen erhalten die Anlasser Einrichtungen, die den Hebel selbsttätig in die Ausschaltstellung zurückführen, wenn der Strom von der Centrale aus oder durch Abschmelzen einer Sicherung unterbrochen wird. (Anlasser mit Nullstrom-Ausschaltung.) Während der Motor im Betriebe ist, wird der Anlafshebel durch den Anker eines Magneten gehalten, dessen Spule zwischen den Hauptleitungen („auf Spannung") geschaltet ist. Sobald der Strom aus irgend einem Grunde aufhört, läfst der Anker den Hebel los, und dieser wird durch eine Feder in die Ausschaltstellung zurückgeführt.

Fig. 200.



Bei den Anlassern mit Überstrom-Ausschaltung wird dagegen der Hebel in die Ausschaltstellung zurückgeführt, wenn der Strom durch Überlastung des Motors, durch Anwachsen der Netzspannung oder durch irgend welche Unterbrechung des Magnetstromkreises eine gefährliche Stärke erreicht.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin verwendet für Proviantaufzüge an Bord (Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm der Grofse" u. a. m.) den Umkehranlafswiderstand (Fig. 200), dessen Schaltungsschema in Fig. 201 wiedergegeben ist. Die Antriebswelle A (Fig. 201) wird durch einen Steuerhebel oder durch ein Steuerseil, je nach der gewünschten Drehrichtung, nach der einen oder nach der anderen Seite umgelegt. Hierdurch wird die Kurbel K und gleichzeitig die Stellscheibe P um 180° gedreht, welche den Umschalter S einstellt, durch den die Stromrichtung im Anker bestimmt wird. Durch Drehen der Kurbel K wird die Stange T frei, welche durch ihr Gewicht herabsinkt, wobei die an T befestigte Kontaktfeder zunächst den Nebenschlufs des Motors einschaltet und hierauf durch den Kontakt C_8 den ganzen, dem Anker vorgeschalteten Widerstand W. Dieser Widerstand wird stufenweise, in dem Mafse wie T sinkt, ausgeschaltet. Durch ein oben an der Stange T angebrachtes einstellbares Sperrwerk wird ein zu schnelles Herabsinken von T verhindert.

Der geringen Herstellungskosten und des geringen Raumbedarfes wegen empfiehlt sich namentlich für grofse Motoren der Flüssigkeitsanlasser, dessen Einrichtung sich aus Fig. 202 für einen Nebenschlufsmotor ergibt. Für Motoren über 30 P. S. erreichen die Anlasser, in denen das Widerstandsmaterial aus Metall besteht, meist solche Dimensionen und Kosten, dafs man den Flüssigkeitsanlassern den Vorzug gibt. Dieser Anlasser A besteht

(Fig. 202) aus zwei voneinander isolierten, gufseisernen Gefäfsen oder Blech ausgeschlagenen Holzgefäfsen, die mit verdünnter Sodalösung[1]) g sind. Die b Gefäfse werde durch leitend einander verb dafs man ei förmig geb Blechtafel la mit ihren En die Flüssigke taucht. Der ist bei der nung in Fig. zwungen, zw sigkeitsschich durchfliefsen Widerstand geringer ist, j das U-förm bogene Blec taucht. In d sten Stellun der Flüss widerstand k schlossen, in Kontakte c zwischen die f klemmen. dem Anlasser A wird zur Re der Feldstärke noch der regul Widerstand NR den Magne M vorgeschaltet.

Fig. 201.

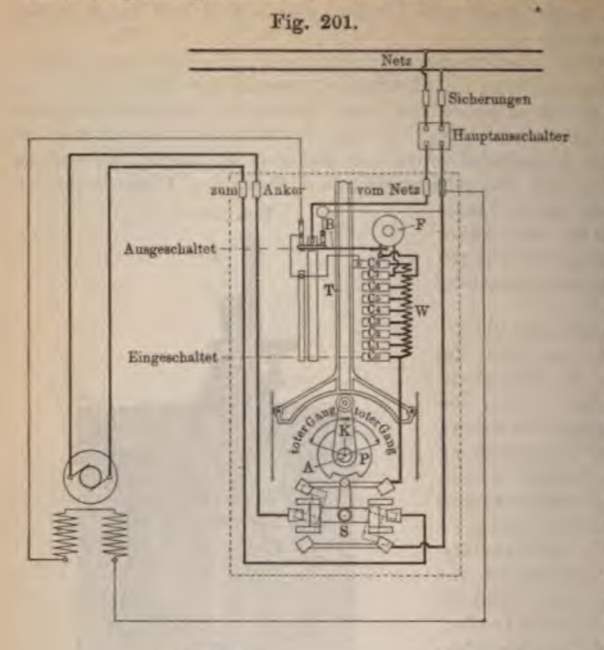
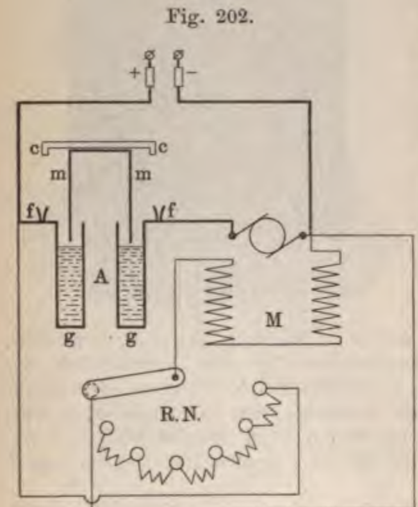


Fig. 202.



Beim Ausschalten geh Stromunterbrechung an der fläche der Flüssigkeit ohne F bildung vor sich. Da durc Erschütterungen die Flüs leicht ausgeschüttet werden so empfiehlt sich nicht die A dung dieser Anlasser an Bord nicht für Motoren auf fah Hebezeugen.

Infolge der Elektroly an den Anlassern für Gleich motoren mit der Zeit ein nic bedeutender Verschleifs ein. Anlasser mufs gegen grofse geschützt sein.

In Fig. 203 und 20 zwei Anlasser der Firma und Haeffner, A.-G., Bockenheim, dargestellt. Die Platten werden en mit einer Spindel, mittels Handhebels oder durch Zahnstange und H

[1]) $^1/_2$ bis 1 kg Soda auf 1 Liter Wasser.

ıaltet. Die eintauchende Platte muſs in der Ausschaltstellung sicher Im Betriebe ist ferner darauf zu achten, daſs die Gefäſse stets mit eit gefüllt sind.

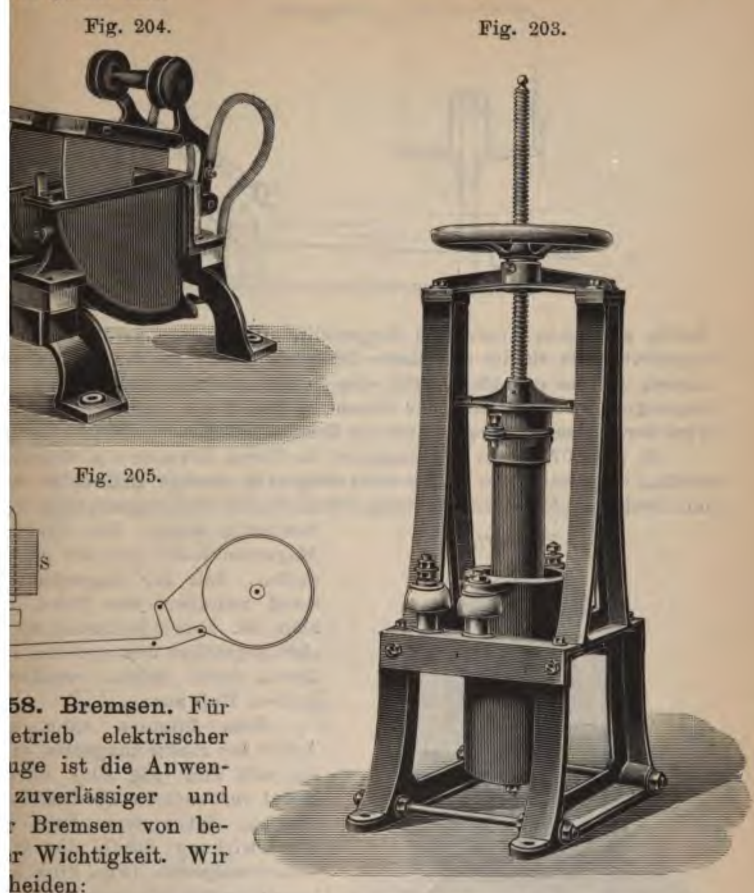


Fig. 204.

Fig. 203.

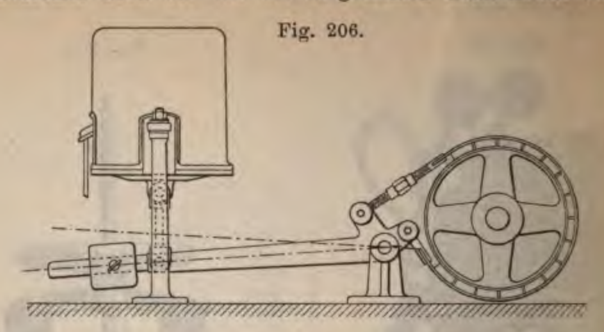
Fig. 205.

58. Bremsen. Für etrieb elektrischer uge ist die Anwen- zuverlässiger und Bremsen von be- r Wichtigkeit. Wir heiden:

Mechanische Bremsen. Die Konstruktion derselben muſs hier gen werden. Zweckmäſsig werden dieselben so mit der Umsteuerung Motor vereinigt, daſs die Bremse nur dann in Tätigkeit gesetzt werden venn der Umsteuerhebel in Mittelstellung sich befindet, und daſs der rhebel nicht eher bewegt werden kann, als bis die Bremse gelöst ist. Elektrische Lüftungsbremsen. Durch das Gewicht des Ankers A 5) wird die Bremse angezogen, wenn nicht durch die Spulen S des n ein Strom flieſst. Durch die Spulen S flieſst bei Nebenschluſs- wohl der Nebenschluſsstrom; bei Serienmotoren wird die Spule S prechender Wickelung direkt an das Netz angeschlossen, so daſs beim ten des Motors der Anker A angezogen wird, und die Bremse sich löst. ler je nach der Belastung veränderlichen Ankerstromstärke können en S nicht im Ankerstromkreise liegen. Um langsames und stoſs- emsen zu erreichen, werden alle Bremsmagnete mit Dämpfern, wozu Luftpumpen dienen, versehen.

In Fig. 206 ist schematisch die Verbindung von Bremslüftungsı und Bandbremse nach der von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesell

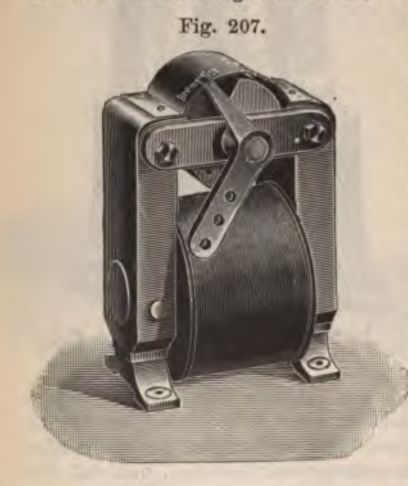
Fig. 206.



Berlin, gegebenen Anordnung dargestellt. Die Bremse wird so an die angebaut, dafs sie im stromlosen Zustande durch das Gewicht des M ankers, welches eventuell durch eine Zusatzbelastung verstärkt werden angezogen wird. Sobald der Strom in den Motor beim Einschalten wird der Anker angezogen und die Bremse gelüftet.

In Fig. 207 ist ein Bremsmagnet der Firma Siemens u. Halske, Berlin, dargestellt. Im Felde eines Magneten bewegt sich dabei ein mit zwei nasenförmigen Ansätzen, durch die die Drehungsrichtung des bestimmt wird. Bei Erregun Magneten sucht sich der Anker stellen, dafs der magnetische stand zwischen den Polen mö klein ist. Dieser Bremsmagnet z sich gegenüber den anderen Koı tionen durch seinen verhältnis grofsen Hub aus.

Fig. 207.

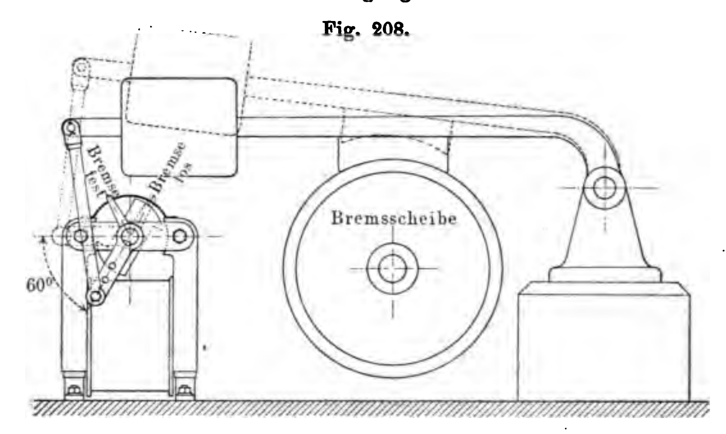


Zum Bremsen kann auc Anker des Elektromagneten selbs ein mit ihm (Fig. 209) durch Hebel verbundener Bremsklotz b werden. Im anderen Falle ka Bremswirkung durch die Pole Elektromagneten (Fig. 210), ode besser zweier diametral am U der Scheibe liegender Magnet geübt werden. Diese Bremsen als direkt wirkende elekt Bremsen zu bezeichnen.

3. Bremsen der Motoren auf Widerstand. Hierbei wi Motor vom Netze abgeschaltet, und man läfst ihn sofort als Dynan einen Widerstand arbeiten. Je gröfser die Tourenzahl des Ankers kleiner der eingeschaltete Widerstand, desto wirksamer ist die Bre Der anfangs eingeschaltete Widerstand wird so gewählt, dafs die zulässige Stromstärke eintritt; er wird dann in dem Mafse ver wie die Tourenzahl des Ankers abnimmt. Diese Änderung des eingesch Widerstandes geschieht am besten selbsttätig etwa durch einen Ölka Die bei dieser Methode erzielte Bremswirkung hört bei geringer Geschwin des Ankers schliefslich ganz auf. Meistens ist deshalb, besonders bei Hebez zum vollständigen Stillsetzen des Motors noch eine Handbremse erford

Bei dieser Bremsung wird die mechanische Energie des Ankers bezw. mit ihm verbundenen und in Bewegung befindlichen Massen in elektrische

Fig. 208.



ergie verwandelt; sobald der Vorrat an ersterer aufgebraucht ist, hört die vegung auf.

Die Bremsung auf einen kleinen Widerstand ist auch bei den zum hen der Panzertürme verwendeten Motoren benutzt [vergl. Neudeck, Die

Fig. 209.

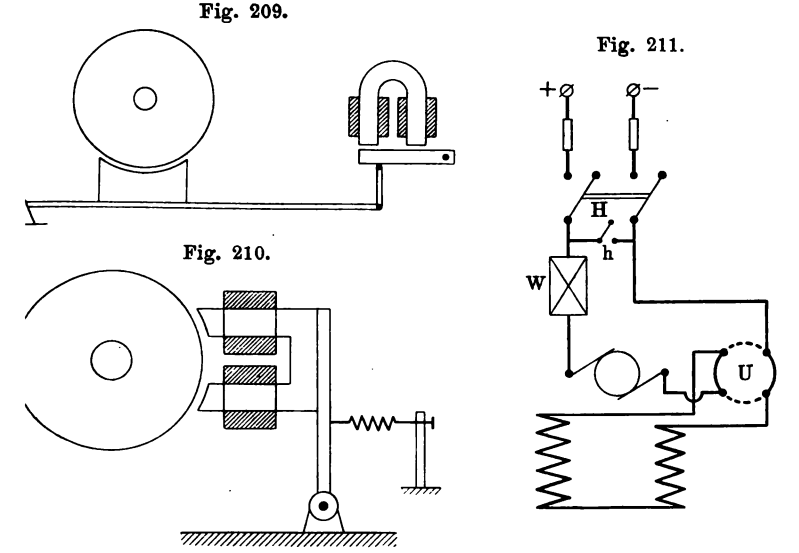


Fig. 210.

Fig. 211.

vaffnung von Kriegsschiffen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 22, S. 410 [1])].

[1]) Für viele Zwecke, wie für den Betrieb von Ventilatoren, Aufzügen für Prot und Munition, Paternosterwerken, Pumpen u. s. w., überhaupt für den dauern-Antrieb großer Hülfsmaschinen bietet die Verwendung der Elektrizität an Bord chiedene Vorzüge. Als solche sind hervorzuheben: 1. die Möglichkeit, jederzeit Betrieb sofort zu beginnen; 2. der geringe Raumbedarf der Motoren; 3. die

Nebenschlufsmotoren werden häufig schon dadurch wirksam ge dafs man sie nach dem Abschalten vom Netze Strom für die Neben wickelung liefern läfst. Soll ein Serienmotor auf die angegebene W bremst werden, so mufs nach dem Ausschalten des Motors währe Bremsung die Verbindung zwischen Anker und Magnetspulen ver werden, weil sonst die Maschine ihren remanenten Magnetismus verm bezw. vernichten würde. Nach dem Abschalten vom Netze durch den poligen Ausschalter H (Fig. 211) schliefst sich der Schalter h, und dur Umschalter werden zur Bremsung die punktierten Verbindungen herg während für den Motorbetrieb die durch die ausgezogenen Linien darges Verbindungen vorhanden sind. Der Anlasser W kann, sofern von vorn hierauf Rücksicht genommen ist, zugleich als Bremswiderstand benutzt w

4. Bremsung bei Nebenschlufsmotoren durch Rückstro Netz. Wird ein Nebenschlufsmotor als Hubmotor bei einem Krane kran) verwendet, so kann derselbe beim Lastsenken, wenn seine E. infolge der erhöhten Tourenzahl gröfser als die konstante Betrieb nung wird, elektrischen Strom ins Leitungsnetz zurückgeben (vergl. Die Untersuchungen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zeigen, es sich dabei um nicht unbedeutende Energiemengen handelt, welcl Netze nutzbar gemacht werden können[1]). Die sinkende Last wirkt dab Antriebskraft. Ist nur ein Motor vorhanden und dient als Stromquelle Akkumulatorenbatterie, so wird in dieser teilweise die Energie der sink Last aufgehäuft, um später wieder verwendet zu werden. Wenn für zeuge Serienmotoren, wie es jetzt meistens geschieht, verwendet werde ist diese Gewinnung des Rückstromes nicht möglich.

5. Wirbelstrombremsen. Im Gegensatz zu den mechanischen, 1. und 2. erwähnten Bremsen sind hier keine sich abnutzenden Reib flächen vorhanden; die Bremsung geschieht hier dadurch, dafs eine a rotierenden Welle befestigte Metallscheibe vor einem Polkranze rotiert Nord- und Südpole abwechselnd liegen. Auch kann ein Metallcylinder be werden, an dessen Umfange herum Nord- und Südpole abwechselnd g mäfsig verteilt angeordnet sind. In der Scheibe wie in dem Cylinder w bei erregten Polen Wirbelströme (vergl. § 31) induziert, die solche Ric haben, dafs sie die Bewegung aufzuhalten suchen. Die Stärke der induz Ströme ist annähernd dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Bremsen können zugleich als Reibungsbremsen ausgeführt werden, sie bei hohen Umdrehungszahlen durch Wirbelströme, bei niedrigen Reibung bremsen.

---

geringe Wartung bei sachgemäfser Aufstellung und Anordnung der Anlage; einfache Bedienung. Für manche Zwecke dagegen, wo es auf eine feine Regul der Tourenzahl ankommt, wie bei dem Betriebe der Schwenkwerke, Geschütze auf den Kriegsschiffen, kann der Elektromotor trotz der zahlreichen im V gehenden besprochenen Methoden der Regulierung der Tourenzahl noch immer allen Anforderungen genügen. Für eine Regulierfähigkeit innerhalb weiter G sind dabei meist sehr grofse und teuere Regulatoren erforderlich, die eine bet liche Energiemenge absorbieren. Sehr bemerkenswert sind hierfür die Ausführ von Grauert, Elektrische Kraftübertragung an Bord, Jahrbuch der Schi technischen Gesellschaft, 3. Bd., S. 137, 1902. Umfangreiche Versuche sind auf S. M. S. „Ägir“ mit Elektromotoren angestellt, auf die mehrfach frühe gewiesen ist. Wir können auf diese wertvollen Mitteilungen hier nur kurz hind

[1]) C. Arldt, Elektrische Kraftübertragung und Kraftverteilung. 3. A 1901, S. 106 u. ff.

Dritter Abschnitt.

Wechselströme.

Siebentes Kapitel.

Grundgesetze des Wechselstromes.

§ 59. Entstehung der Wechselströme. Einfache Wechsel-ommaschine. Wird in Fig. 85 das Gleitstück AB abwechselnd ch rechts und nach links bewegt, so entstehen im Schliefsungskreise öme wechselnder Richtung.

Eine rechteckige Windung aus Kupferdraht $bacd$ (Fig. 212) rde zwischen den Polen N und S um die zu den Seiten ab und cd allele Achse gedreht. Seiten ab und cd der ndung durchschneiden Kraftlinien des mag-ischen Feldes.

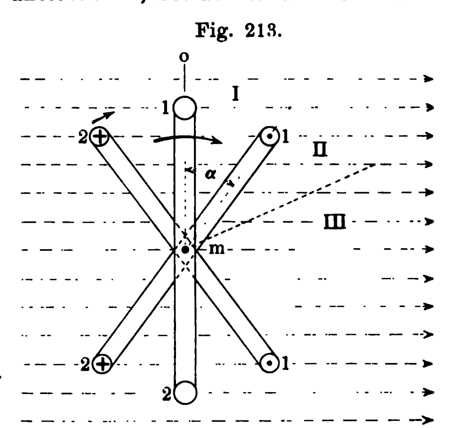
Fig. 212.

Die Enden der Win-g sind mit zwei von-ander isolierten und der Welle befestigten gen verbunden, auf chen die feststehenden sten B_1 und B_2 schlei-. Die Windung und der sere Widerstand w_a bilden einen geschlossenen Stromkreis. Da die ndung um eine zur Richtung der Kraftlinien senkrechte Achse rotiert, ist die Zahl der Kraftlinien, welche der Schliefsungskreis umfafst, änderlich, in ihm entstehen also Induktionsströme. Ist die Fläche Windung zur Richtung der Kraftlinien (zur Pollinie) senkrecht, so der auf sie treffende magnetische Kraftlinienflufs am gröfsten ; ist aber den Kraftlinien parallel, so ist die Zahl der von der Windung schlossenen Kraftlinien gleich Null.

Blickt man von den Schleifringen aus gegen die Windung und rotiert letztere im Sinne der Uhrzeigerrichtung, so ist bei der in Fig. 212 dargestellten Lage nach den Regeln I und II des § 27 in *ab* der Strom auf den Beschauer zu, in *cd* von ihm fort gerichtet. Die in den beiden wirksamen Seiten induzierten elektromotorischen Kräfte treiben also den Strom im gleichen Sinne durch die Windung. Nach einer Drehung um 180° hat der Strom die entgegengesetzte Richtung. Bei der Drehung der Windung erhalten wir also **Wechselströme** und während jeder ganzen Umdrehung zwei Stromrichtungswechsel.

Um die Änderungen der hierbei induzierten E. M. K. genauer zu untersuchen, betrachten wir eine rechteckige Windung, welche in einem homogenen Felde von der Stärke H rotiert. Zur Drehungsachse der Windung (Fig. 212) sei ein Schnitt (Fig. 213) senkrecht gelegt, 1 und 2 stellen dann die Querschnitte der wirksamen Seiten *ab* und *cd* dar. Die Windung drehe sich in der Richtung des Pfeiles um die Achse *m*. Die gestrichelten Linien stellen die parallelen Kraftlinien des Feldes dar. Die Anfangsstellung *o* der Windung sei diejenige, in welcher die Ebene der Windung rechtwinklig zur Richtung der Kraftlinien liegt. Ist F die Fläche der rechteckigen Windung, so umfaßt die Windung nach einer Drehung um den Winkel α aus der Anfangsstellung

Fig. 213.



$$N_\alpha = F.H.\cos\alpha \text{ Kraftlinien.} \tag{46}$$

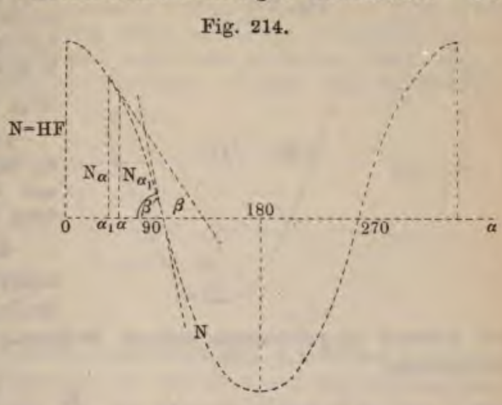
Ist $\alpha = 90^0$ und damit die Ebene der Windung den Kraftlinien parallel, so ist die Zahl der von der Windung umschlossenen Kraftlinien gleich Null.

Dreht sich die Windung aus der Anfangsstellung *o*, so bewegen sich die beiden wirksamen Seiten 1 und 2 zunächst fast parallel den Kraftlinien. Wir teilen den Quadranten in drei gleiche Teile I, II und III; bei konstanter Umdrehungsgeschwindigkeit werden die Seiten 1 und 2 im Winkelraum I weniger Kraftlinien schneiden als in II, hier weniger als in III [vergl. § 28 und die Gleichung (27)]. Die induzierte E.M.K. ist am gröfsten, wenn die Seiten 1 und 2 die Kraftlinien senkrecht durchschneiden, d. h. in den Zeitpunkten, wo die Windungsebene den magnetischen Kraftlinien parallel ist, und die Windung keine Kraftlinien umschliefst. Für die Gröfse der induzierten

M.K. ist nicht die Zahl der Kraftlinien maſsgebend, welche der Strom-
is bezw. die rotierende Windung umschlieſst, sondern nur die Ge-
windigkeit, mit welcher sich diese Zahl verändert.

Die Ordinaten der Kurve N, Fig. 214, stellen nach der Glei-
ng (46) die Zahlen der Kraftlinien dar, welche die rotierende Win-
ag (Fig. 213) in den verschiedenen Stellungen umschlieſst. Die
ximale Ordinate ist
$= HF$ für $\alpha = 0$.
eht sich die Win-
ag aus der Stellung
in die Stellung α, so
amt der Kraftlinien-
s ab von N_α auf N_{α_1}.
s Verhältnis (N_α —
) : ($\alpha - \alpha_1$) ist aber
ch die Tangente des
nkels β gegeben, die
Maſs für den Abfall
Kurve gibt, d. h.
die Änderung der

Fig. 214.



al der Kraftlinien, die von der rotierenden Windung umschlossen
rden. Je schneller sich aber der die Windungsfläche durchsetzende
aftlinienfluſs ändert, desto gröſser ist die induzierte E.M.K. Der
nkel β ist am gröſsten für die Punkte, in welchen die Kurve N
horizontale Achse durchschneidet, d. h. für $\alpha = 90^0$, $\alpha = 270^0$ u. s. w.
r diese letzteren Stellungen der Windung muſs also die in ihr indu-
rte E.M.K. ihren gröſsten Wert $= E$ haben.

Ist die Windung um den Winkel α aus ihrer Anfangslage ge-
ht, so ist nach der Theorie der Wechselströme die in diesem Augen-
cke induzierte E.M.K.

$$e = E . \sin \alpha. \qquad)$$

Übereinstimmung mit dem vorigen erhalten wir in der Tat, daſs für

$$\alpha = 0; \qquad e = 0$$
$$\alpha = 90^0; \qquad e = E$$
$$\alpha = 180^0; \qquad e = 0$$

s. w. wird.

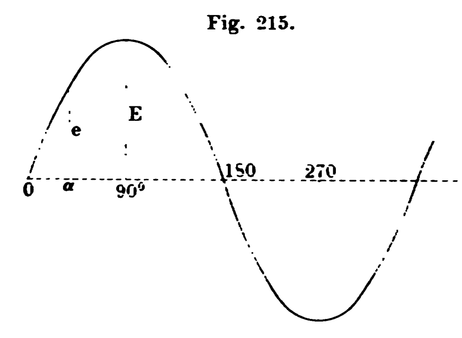
Rotiert also die Windung in einem homogenen Felde,
ist der augenblickliche Wert e der induzierten E.M.K.
oportional dem Sinus des Winkels, um welchen die Win-
ang aus der Anfangslage gedreht ist.

Die Werte der augenblicklichen E.M.K. werden nach der Glei-
ung (47) in Fig. 215 (a. f. S.) durch eine Sinuskurve dargestellt, deren
aximale Ordinate gleich E ist. Die Kurve (Fig. 215) gibt für jede

Stellung der Windung, d. h. für jeden Wert von α den Betrag der induzierten E.M.K. und stellt den Verlauf der Wechselspannung zwischen den Bürsten dar.

Rotiert eine Spule mit z Windungen in einem gleichförmigen Felde, dessen Stärke H ist, in derselben Weise wie die Windung in Fig. 213 und 214, und macht sie in der Sekunde n Umdrehungen, so ist das Maximum der induzierten E.M.K.

Fig. 215.



(47a) $$E = 2\pi n z N . 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Dabei ist $N = HF$, wo H die Stärke des homogenen Feldes und F die Fläche einer Windung der Spule bedeutet.

Ist w_i der Widerstand der rotierenden Windung bezw. Spule und w_a der zwischen den Bürsten eingeschaltete äufsere Widerstand, so ist die maximale Stromstärke

(48) $$J = \frac{E}{w_i + w_a}.$$

Für die augenblickliche Stromstärke erhalten wir, wie in der Gleichung (47),

(49) $$i = J . \sin \alpha = \frac{E}{w_i + w_a} \cdot \sin \alpha.$$

Dabei ist aber vorausgesetzt, dafs aufser der durch die Drehung der Spule im Felde induzierten E. M. K. keine weitere im Stromkreise auftritt. α ist die Phase des Wechselstromes bezw. der Spannung.

Braucht die Spule die Zeit t, um sich bei einer Rotation mit konstanter Geschwindigkeit aus der Anfangslage um den Winkel α zu drehen, und ist T die Dauer einer ganzen Umdrehung, so ist

$$t : T = \alpha : 2\pi \quad \text{und} \quad \alpha = \frac{2\pi t}{T}.$$

Ferner ist $\frac{1}{T}$ = der Anzahl n der Umdrehungen pro Sekunde und also $\alpha = 2\pi n t$. Die augenblickliche E.M.K. ist also

(50) $$e = E \sin \frac{2\pi t}{T}; \quad e = E \sin 2\pi n t.$$

T ist die Dauer einer Periode, und n die Zahl der Perioden in der Sekunde oder die Frequenz des Wechselstromes. $2n$ ist die Wechselzahl (Zahl der Polwechsel) in der Sekunde.

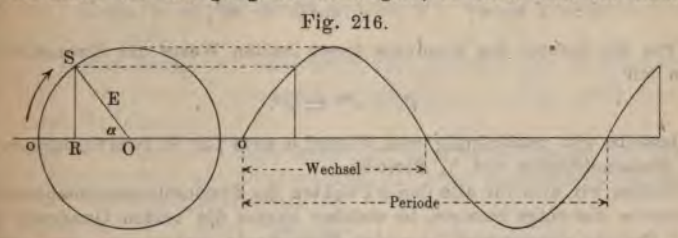
Bezeichnet man $2\pi n$ mit ω, so ist ω die Winkelgeschwindigkeit r rotierenden Spule bezw. Windung, und wir haben

1) $$e = E . sin(\omega t).$$

Graphische Darstellung der induzierten E.M.K.

Der Radius des Kreises (Fig. 216) sei die in der rotierenden Windung r Spule (Fig. 212) induzierte maximale E.M.K. $E = 2\pi . n . z . N . 10^{-8}$ Volt. eht die Windungsfläche der Spule senkrecht zu den Kraftlinien, ist also $= 0$, so sei der Radius horizontal nach links gerichtet. Dreht sich die ule im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers, so dreht sich der Radius in

Fig. 216.



rselben Richtung mit der gleichen Geschwindigkeit, d. h. mit n Umdrehungen der Sekunde. Ist die Spule um den Winkel α aus der Anfangsstellung dreht, so stellt die Ordinate SR den augenblicklichen Wert der E.M.K. r, wenn $\measuredangle SOR = \alpha$ ist.

$$SR = OS . sin\, \alpha = E . sin\, \alpha.$$

Nach der graphischen Darstellung ändert sich die E.M.K. nach einer uskurve; sie ist in keinem Augenblick konstant, sondern wächst von Null sgehend zu einem Maximum E an, nimmt dann ab bis zu Null, kehrt ihre chtung um, wächst zu einem negativen Maximum an und nimmt schliefs- h wieder den Wert Null an u. s. w. Nunmehr ist eine Periode vollendet. nz dieselben Betrachtungen gelten für die Stärke des Wechselstromes.

§ 60. Effektive Stärke und Spannung des Wechselstromes. essung derselben. Für die praktischen Anwendungen des Wechsel- omes sind weniger die augenblicklichen Stromstärken von Bedeutung vielmehr die effektive Stärke sselben. Da die Stärke des echselstromes nach der in Fig. 216 rgestellten Kurve veränderlich ist, mufs die vom Wechselstrom- sser angezeigte Stärke besonders klärt werden. Die Energie des echselstromes, wie die Wirkung Glühlampen, ist nach dem Joule- en Gesetze dem Quadrate der omstärke proportional. Dem- ch versteht man unter der ektiven Stärke des Wechselstromes die Quadratwurzel s dem mittleren Werte der Quadrate aller Stromstärken,

Fig. 217.



die während einer Periode nach der Darstellung Fig. auftreten.

Wir teilen die Periode und damit den Kreisumfang (Fig. 217, a. v. S.) gleiche Teile, wo p durch 4 teilbar ist. Der Radius des Kreises stellt Maximum J des Wechselstromes dar. Um die effektive Stromstärke zu halten, wäre das Mittel aus allen den p Teilpunkten entsprechenden Quadr der Stromstärken i zu bilden; die Wurzel aus diesem Mittelwerte würde effektive Stromstärke ergeben. Um die Summation der Quadrate auszufüh betrachten wir zwei Werte der Stromstärke, die um 90° ($\pi/2$) in der Ph auseinander liegen

$$i = J \sin \alpha; \qquad i' = J \,.\, \sin(\alpha + 90^0) = J \,.\, \cos \alpha.$$

Für die Summe der Quadrate dieser beiden Werte der Stromstärke halten wir

$$i^2 + i'^2 = J^2.$$

Dasselbe gilt unabhängig vom Winkel α stets für je zwei Stromwerte einer Phasendifferenz von $^1/_4$ Periode.

Bilden wir also für alle den p Punkten des Kreisumfanges entsprechen Stromwerte die obige Summe, in welcher immer die beiden Quadrate zwe um $^1/_4$ Periode voneinander liegenden Stromwerte vorkommen, und addie wir diese sämtlichen p Summen, so enthält die Gesamtsumme das Quad jedes der p Stromwerte zweimal.

$$\Sigma(i^2 + i'^2) = p\,J^2,$$

da aber

$$\Sigma(i^2 + i'^2) = 2\,\Sigma i^2,$$

so folgt

$$\Sigma i^2 = \frac{p \,.\, J^2}{2}.$$

Das mittlere Quadrat der Stromstärken ist aber

$$\frac{\Sigma i^2}{p} = \frac{J^2}{2}.$$

Demnach erhalten wir für die effektive Stromstärke i_{eff}

$$i_{eff} = \sqrt{\frac{\Sigma i^2}{p}} = \frac{J}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \,.\, J. \tag{52}$$

Bei dem durch eine Sinuskurve dargestellten Ve laufe des Wechselstromes ist die effektive Stärke glei der maximalen Stärke dividiert durch $\sqrt{2}$.

Die effektive Stärke eines Wechselstromes ist glei der konstanten Stärke eines Gleichstromes, wenn bei Ströme in demselben Widerstande, z. B. im Kohlenfad einer Glühlampe, dieselbe Wärmewirkung hervorbringen.

Zeigt also der in der Zuleitung nach einer Glühlampe eingeschalt Wechselstrommesser die effektive Stromstärke 1 Amp. an, so steigt bei ei artigem Verlaufe der Wechselstrom in Wirklichkeit von 0 auf + $\frac{1}{0}$ = 1,41 Amp. an, nimmt dann ab bis zu — 1,41 Amp., um wieder + 1,41 Amp. anzusteigen u. s. f. Die Wirkung dieses Wechselstromes Kohlenfaden ist aber gleich derjenigen eines Gleichstromes von 1 Amp.

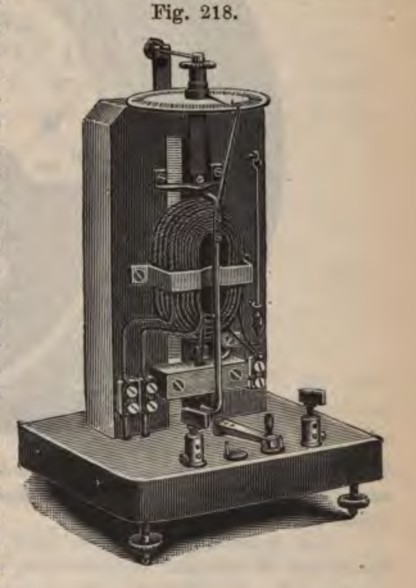
Ändert sich die Wechselspannung zwischen den Polklemmen der be-
chteten Glühlampe zwischen den maximalen Werten + 100 Volt und
100 Volt nach einer Sinuskurve, so zeigt ein Wechselstromspannungs-
sser (siehe S. 164) die effektive Spannung 100 . 0,707 = 70,7 Volt an.

Für Wechselstrommessungen sind alle mit permanenten Magneten
sgerüsteten Meſsinstrumente (vergl. § 18 und 25) unbrauchbar, weil
algebraische Summe aller Stromwirkungen während einer Periode
ll, und das Trägheitsmoment des beweglichen Teiles (Magnetnadel
er Spule) viel zu groſs ist, um den raschen Wechseln des Stromes
folgen; man würde höchstens ein Zittern des beweglichen Systems
obachten können.

Zur Bestimmung der effektiven Stromstärke des Wechselstromes
ent das **Torsions-Elektrodynamometer** (Fig. 218) von **Sie-
ens und Halske.**

Dasselbe enthält eine feste Spule mit zwei Wickelungen mit verschie-
nen Windungszahlen und Drahtstärken, um zwei verschiedene Meſsbereiche
haben. Die bewegliche Spule be-
ht meist nur aus einer einzigen
ndung in Form eines aus einem
rken Drahte gebildeten rechteckigen
gels. Dieser ist an einem Kokon-
en aufgehängt und wird durch eine
ralfeder in der Nulllage gehalten,
daſs seine Windungsebene senkrecht
derjenigen der festen Spule liegt.
e beiden Enden des Bügels tauchen
n Zwecke der Stromzuführung in
ei übereinander stehende Quecksilber-
pfe. Flieſst ein Strom durch den
gel und dann durch eine der festen
len, so hat der Bügel das Be-
eben, sich so zu stellen, daſs seine
aftlinien mit denen der festen Spule
rallel und gleich gerichtet sind.

Fig. 218.



Die Spiralfeder ist mit einem
rsionsknopf verbunden, durch dessen
ehung die Feder so weit angespannt
d, bis der Bügel sich wieder in
Nulllage befindet. Der Winkel,
welchen man die Feder anspannt,
n auf der Teilung an dem mit dem
rsionsknopf verbundenen Zeiger abgelesen werden und ist dem von der
ler ausgeübten Drehungsmoment proportional. Flieſst ein Wechselstrom
ch den Apparat, so findet zu gleicher Zeit die Umkehrung der Stromrich-
g in der beweglichen und festen Spule statt, weshalb die Richtung der
lenkung des Bügels die gleiche bleibt. Das Drehungsmoment, welches auf
Bügel wirkt, ist ferner in jedem Augenblick proportional den Strom-
ken in der festen Spule und in dem Bügel, also dem Quadrate der Strom-
ke. Der Winkel φ, um welchen die Feder angespannt werden muſs,
nit Spule und Bügel wieder im rechten Winkel zueinander stehen, ist
dem Quadrate der effektiven Stromstärke proportional, so daſs

$$i = c \cdot \sqrt{\varphi}$$

ist, wo c die Konstante des Instrumentes bedeutet, welche durch Eichung mittels Gleichstrom ermittelt werden mufs.

Zur Messung der effektiven Stärke des Wechselstromes sind auch die **Hitzdrahtinstrumente** sehr geeignet, in welchen die Erwärmung eines vom Strome durchflossenen Leiters, bezw. die dadurch verursachte Ausdehnung desselben zur Strommessung benutzt wird. Die mit der Erwärmung des Leiters proportionale Ausdehnung wächst im gleichen Verhältnis mit i^2 und ist unabhängig von der Richtung des Stromes. In dem Instrument von **Hartmann und Braun** (Fig. 219) wird die Durchbiegung eines Drahtes aus Platinsilber mittels kniehebelartiger Übersetzung gemessen.

Da als Hitzdraht nur ein sehr dünner Draht aus Eisen, Nickel oder Platin verwendet wird, so kann die direkte Strommessung nur für geringe

Fig. 219.



Stromstärken stattfinden; für höhere Stromstärken erhält der Hitzdraht einen aus gewelltem Konstantan- oder Manganinblech hergestellten Nebenschluß (siehe Fig. 37).

Für Spannungsmessungen wird dem Hitzdrahte ein hoher und induktionsfreier Widerstand vorgeschaltet, der meist im Gehäuse des Instrumentes angebracht ist. Bei den Instrumenten dieser Art von **Hartmann und Braun** sorgt eine magnetische Dämpfung für aperiodische Einstellung des Zeigers. Gegenüber allen magnetischen Mefsinstrumenten haben diese kalorischen Instrumente den Vorzug, dafs sie von benachbarten Starkströmen in ihren Angaben unabhängig sind und ohne weiteres für Gleich- und Wechselstrom brauchbar sind. Dabei zeigen diese Voltmeter fast in jeder Lage richtig an und sind z. B. von Schiffschwankungen sehr unabhängig.

Aufserdem werden zur Messung der Wechselströme auch die wer- empfindlichen und billigeren Strommesser mit weichem Eisenkern [W eiseninstrumente (vergl. § 26)] verwendet. Instrumente dieser Art z nur richtig an bei der Frequenz, für welche sie geeicht sind, und eiger auch nur bei der Kurvenform des Wechselstromes, der zur Eichung benutz

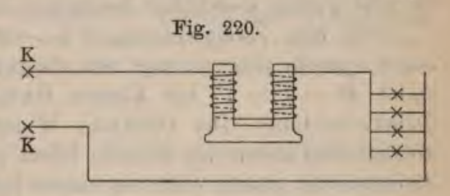
§ 61. Die Selbstinduktion im Wechselstromkreise. Fliefst n konstanter Gleichstrom durch eine Drahtspule mit oder ohne Eisen-ern, so ist der Spannungsverbrauch in derselben in beiden Fällen eich und wird nach der Gleichung (9) berechnet. Die Selbstinduktion itt nur auf, wenn die Stärke des Gleichstromes geändert wird (vergl. 30).

Fliefst dagegen ein Wechselstrom durch eine Drahtspule, so ist e effektive Spannung erheblich gröfser, als sie nach der Gleichung (9) in sollte, besonders wenn die Spule auf einem in sich geschlossenen isenkern gewickelt ist.

Der Widerstand, den der Gleichstrom in der Spule überwindet, ird kurz als Ohmscher Widerstand bezeichnet. Der Wechsel-romwiderstand einer Spule, deren sämtliche Windungen im gleichen nne gewickelt sein sollen, ist erheblich gröfser als der Ohmsche iderstand der Spule, und zwar um so mehr, je gröfsere magnetische ermeabilität der Raum im Innern und aufserhalb der Spule besitzt, nd je mehr Windungen die Spule hat.

1. Zwischen den Polklemmen KK (Fig. 220) ist eine Wechsel-annung von 100 Volt vorhanden. In dem Schliefsungskreise schalten ir einen Elektromagneten aus Eisenblechscheiben und eine Gruppe n vier parallel geschalteten ampen (100 Volt, 16 N.K.) ntereinander. Die Wicke-ng des Magneten besteht s etwa 400 Windungen upferdraht und hat den iderstand 0,5 Ω. Jede der er Lampen würde bei nor-

Fig. 220.

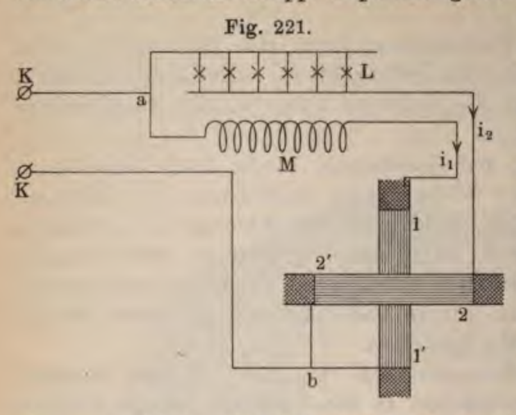


aler Lichtstärke den Strom 0,5 Amp. verbrauchen, so dafs der nach r Gleichung (9) berechnete Spannungsverlust in der Wickelung s Magneten nur $4 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 1$ Volt sein müfste, so dafs also für n Betrieb der Lampen eine Spannung von 99 Volt übrig bleibt. Die ampen brennen aber mit weit geringerer Spannung, da die Kohlen-den kaum rotglühend werden. Die Lampen erlöschen fast vollständig, enn wir den magnetischen Kreis des Magneten durch einen auf die le gelegten Anker aus Eisenblechscheiben schliefsen. Ein in die itung eingeschaltetes Ampèremeter würde anzeigen, dafs die Strom-rke fast auf Null gesunken ist, während doch der sogenannte Ohm-he Widerstand nicht geändert ist, und auch die Wechselspannung ischen den Klemmen KK ihren Wert behalten hat. Der Grund für s Sinken der Stromstärke liegt vielmehr in der Selbstinduktion, die im Wechselstrom in der Spule auftritt und zusammen mit dem Ohm-hen Widerstande den eigentlichen Wechselstromwiderstand oder e Impedanz ausmacht. Die Selbstinduktion in den Glühfäden r Lampen ist sehr gering, so dafs sie gegenüber derjenigen der

Drahtspule unberücksichtigt bleiben kann. Die Selbstinduktion trägt also zur Vermehrung des Wechselstromwiderstandes bei.

2. Bei a (Fig. 221) verzweigt sich der Wechselstrom, der eine Teil fliefst durch die Gruppe L parallel geschalteter Lampen und dann durch die Spule $2-2'$, der andere Teil fliefst durch die Spule M, welche einen Eisenkern zur Erhöhung ihrer Selbstinduktion enthält, und dann durch die Spulen $1-1'$. Bei b vereinigen sich die Zweigströme wieder. Die Spule $1-1'$ und $2-2'$ enthalten einige Windungen und sind auf einem rechteckigen Holzrahmen gewickelt. Die Selbstinduktion der Spulen $1-1'$ und $2-2'$ ist sehr gering gegenüber derjenigen der Spule M.

Fig. 221.



Der eine Zweigwiderstand $L-2-2'$ hat Ohmschen Widerstand, jedoch sehr geringe Selbstinduktion, der andere Zweigwiderstand $M-1-1'$ hat kleinen Ohmschen Widerstand und grofse Selbstinduktion. Der Ohmsche Widerstand des einen Zweiges und die Selbstinduktion des anderen lassen sich leicht so wählen, dafs beide Zweigströme gleiche effektive Stärke haben.

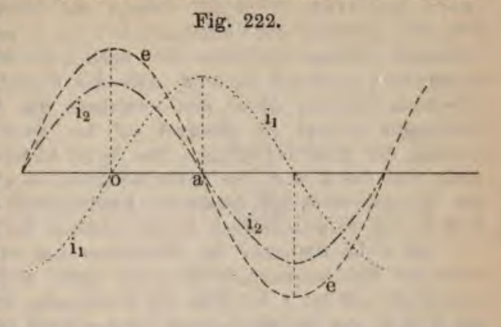
Bringt man eine Magnetnadel in das Innere des Spulenkreuzes, so gelangt dieselbe in schnelle Rotation. Im Innern der Spulen entsteht ein magnetisches Drehfeld. Aufser einer Erhöhung des Widerstandes bringt die Selbstinduktion auch eine Phasendifferenz zwischen der Spannung und der Stromstärke hervor. Während der Strom i_2 in $L-2-2'$ nahezu in gleicher Phase mit der Spannung e zwischen den Klemmen KK ist, d. h. zu gleicher Zeit sein Maximum erreicht wie die Spannung und zu gleicher Zeit mit derselben die Richtung wechselt, ist der Strom i_1 infolge der Selbstinduktion „aufser Tritt" mit der Spannung e, d. h. die Stromstärke i_1 erreicht ihren höchsten Wert später als die Spannung e. Fig. 223 stellt den Fall dar, in welchem die Phasendifferenz zwischen den Strömen i_1 und i_2 eine Viertelperiode ($= 90^0$ oder $\pi/2$) beträgt. i_2 und e sind in gleicher Phase.

Bei dem in Fig. 221 dargestellten Versuche ist die Phasendiffe[renz] von einer Viertelperiode nur annähernd erreicht, weil weder die eine Zw[eig]leitung nur Ohmschen Widerstand, noch die andere ausschliefslich Se[lbst]induktion hat. Aber auch bei einer Phasendifferenz der Ströme i_1 un[d]

on weniger als 90° oder einer Viertelperiode kommt im Innern der Spule n magnetisches Drehfeld zustande.

Beginnen wir mit dem Zeitpunkt 0, wo i_2 sein Maximum hat, $i_1 = 0$ t; in diesem Augenblicke ist $1 - 1'$ stromlos, und $2 - 2'$ erzeugt ein magetisches Feld, welches seine gröfste Stärke hat und dessen Kraftlinien (vergl. 22) zu den Windungsebenen der Spule $2 - 2'$ senkrecht stehen. Im Augenick a ist $i_2 = 0$, und i_1 at seinen höchsten Wert, so afs das Feld der Spule $- 1'$ seine maximale Stärke at. Die Kraftlinien liegen diesem Augenblicke senkcht zu den Windungsebenen n $1 - 1'$. In der Zeit $- a$, d. h. während einer iertelperiode, hat sich die ichtung des Feldes allmäh-h um 90° geändert. Liegen e Kurven, welche den zeit-hen Verlauf der Ströme rstellen, unterhalb der horizontalen Achse, so nimmt die Stromrichtung d damit auch die Feldrichtung in den Spulen, die entgegengesetzte ichtung an. Während jeder Periode macht die Feldrichtung eine volle ndrehung. Eine kleine im Mittelpunkte aufgestellte Magnetnadel hat das estreben, ihre magnetische Achse in die Richtung der Kraftlinien einstellen; da die letztere aber mit konstanter Geschwindigkeit während jeder riode sich um 360° ändert, so wird die Magnetnadel in synchrone Drehng mit dem Felde versetzt, d. h. sie macht in derselben Zeit wie das eld eine volle Umdrehung.

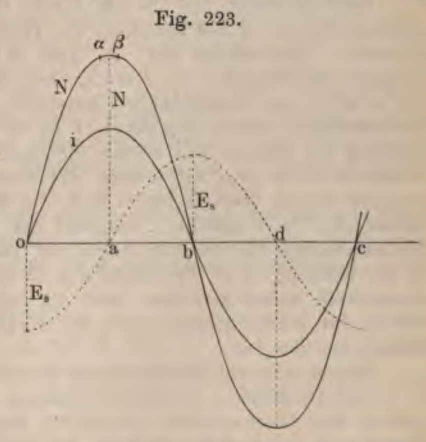
Fig. 222.



§ 62. **Die Selbstinduktion im Wechselstromkreise (Fortetzung).** Wir betrachten jetzt eine Spule, durch welche ein Wechselstrom efst. Die Stärke des von der Spule erzeugten magnetischen Feldes ändert h mit der Zeit wie die Stromirke (Gleichung 22), wird also enfalls durch eine Sinuskurve rgestellt. In Fig. 223 stelle i Stromkurve, N die Kurve r, deren Ordinaten die augenickliche Feldstärke angeben.

Ändert sich aber die Feldrke im Innern der Spule, so rd in der letzteren eine E. M. K. uziert. Dabei geht die Ändeg der Feldstärke in der Spule derselben Weise vor sich wie der in Fig. 213 betrachteten ierenden Spule. Als Anfangsllung der letzteren haben wir jenige betrachtet, bei welcher Windungen das Maximum Kraftlinien umschliefsen; se Anfangsstellung würde also z. B. dem Punkte a, Fig. 223, entsprechen. r die Gröfse der in der Spule induzierten E. M. K. kommt die Ge-

Fig. 223.



schwindigkeit in Betracht, mit welcher sich der magnetische Kraftlinienfluſs in der Spule ändert. Diese Änderung der Feldstärke ist aber (vergl. Fig. 214) durch den Abfall der Kurve N gegeben, welcher in den Punkten b und c am gröſsten ist. **In den Zeitpunkten also, wo der Kraftlinienfluſs in der Spule seine Richtung wechselt, der Wechselstrom also gleich Null ist, hat die E.M.K. der Selbstinduktion ihren gröſsten Wert** E_s. Steigt der Wechselstrom an vom Punkte 0 (Fig. 223) während der Viertelperiode 0 bis a, so wirkt die E.M.K. der Selbstinduktion während derselben Zeit nach § 30 dem Strome entgegen, was dadurch zum Ausdruck kommt, daſs die Kurve für die E.M.K. der Selbstinduktion während dieser Zeit unterhalb der horizontalen Achse liegt. Im Zeitpunkte a liegt ein Element $\alpha\beta$ der Kurve N der horizontalen Achse parallel, der Kraftlinienfluſs in der Spule ändert sich nicht in diesem Augenblick, und die E.M.K. der Selbstinduktion ist also gleich Null. Nimmt dann der Wechselstrom und damit der Kraftlinienfluſs an Stärke ab, so wirkt die E.M.K. der Selbstinduktion in der gleichen Richtung wie der Wechselstrom.

Ist n die Frequenz des Wechselstromes in der Spule, N der dem Maximum der Wechselstromstärke in der Spule entsprechende magnetische Kraftlinienfluſs, und ist z die Zahl der Windungen der Spule, so ist das Maximum der E.M.K. der Selbstinduktion entsprechend der Gleichung (47a)

$$E_s = 2\pi n z N . 10^{-8} \text{ Volt.} \tag{54}$$

N hängt dabei in hohem Grade von der Permeabilität des die Windungen der Spule umgebenden Raumes ab, und die Selbstinduktion ist daher in Spulen mit Eisenkern (Drosselspulen) besonders groſs. Sie tritt auch auf in einer geradlinig gezogenen Leitung, besonders wenn diese in einem Eisenrohr liegen würde.

Aus der Figur 224 ergibt sich, **daſs die E.M.K. der Selbstinduktion um eine Viertelperiode später das Maximum erreicht als der Wechselstrom**; während dieser bereits in a seinen Höchstwert erhalten hat, nimmt die E.M.K. der Selbstinduktion erst in b ihren gröſsten Wert an. Die Strecke ab entspricht aber der Dauer einer Viertelperiode. Der Wechselstrom und die E.M.K. der Selbstinduktion haben also eine Phasendifferenz von $\pi/2$ (90°).

Stellt demnach der um den Punkt O (Fig. 224) mit konstanter Winkelgeschwindigkeit in der Richtung des Pfeiles sich drehende Radius OA die maximale Stromstärke dar, so gibt AC die in einem Augenblick vorhandene Stromstärke $i = J \sin \alpha$. Der Radius OB, welcher das Maximum der E.M.K. der Selbstinduktion darstellt, bildet mit OA nach den vorigen Betrachtungen einen Winkel $\pi/2 = 90°$. Bei der angenommenen Drehrichtung des Radius OA wächst die Stromstärke an. Die E.M.K. der Selbstinduktion wirkt dem Anwachsen des Stromes entgegen. Dann ist BD der augenblickliche Wert e_s der E.M.K. der Selbstinduktion, welcher zur Stromstärke $AC = i$ gehört. Rotieren die beiden Radien OA und OB im Winkelabstand von 90° mit konstanter Geschwindigkeit und n Umdrehungen in der Sekunde (n = Frequenz) um O, so stellen die von A und B auf die horizontale Achse gefällten Lote für jede Lage bezw. die augenblickliche Stärke des Wechselstromes und die zugehörige augenblickliche E.M.K. der Selbstinduktion dar.

Flieſst also ein Wechselstrom durch einen Leiter mit Selbstinduktion, z. B. eine Drahtspule, so muſs die Spannung zwischen den Klemmen desselben erstens den Wechselstrom durch den nach der Gleichung (7) berechneten Widerstand w der Spule treiben. Da der Widerstand w der Spule konstant ist, so ändert sich dieser Teil der Spannung wie die Stromstärke entsprechend der Gleichung (9). In Fig. 225 stelle der Radius OB das Maximum J der

Stärke des Wechselstromes dar, OC sei $J.w$, also die Spannung, welche das Maximum des Stromes nach dem Ohmschen Gesetze durch den Widerstand w treibt.

OD stellt ferner das Maximum der E.M.K. der Selbstinduktion der Spule dar. Die Lote CC', BB' und DD' sind zusammengehörige Augen-

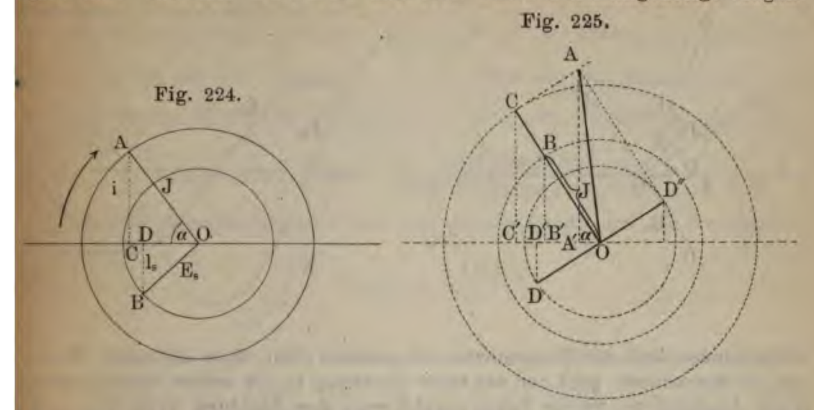


Fig. 224.

Fig. 225.

blickswerte des Spannungsverlustes durch den Ohmschen Widerstand, der Stromstärke und der E.M.K. der Selbstinduktion. Die Spannung zwischen den Klemmen der Spule mufs aber zweitens eine Komponente haben, welche die Selbstinduktion überwindet. Demnach ist das Maximum der Spannung zwischen den Klemmen der Spule durch die Strecke OA dargestellt, deren Komponenten OC und OD'' sind. OD'' reicht zur Überwindung der Selbstinduktion aus. AA' ist der augenblickliche Wert der Spannung zwischen den Klemmen der Spule. Rotieren die Strecken OD, OB und OA in fester Verbindung zueinander um den Punkt O, so stellen die von dem Punkte A, B, D gefällten Lote für jede Phase bezw. den augenblicklichen Wert der Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen der Spule, die Stromstärke i und die Selbstinduktion e_s in derselben dar. Bei dieser Rotation kommt OA früher in eine zur horizontalen Achse vertikale Lage als OB bezw. OC, d. h. die Spannung zwischen den Klemmen der Spule erreicht infolge der Selbstinduktion ihren maximalen Wert eher als die Stromstärke. Läfst man die Strecken OD, OC und OA in fester Verbindung rotieren, und trägt man für jeden Zeitpunkt der horizontalen Achse die zusammengehörigen Werte der Spannungsdifferenz, des Spannungsverbrauches infolge des Ohmschen Widerstandes, sowie der Selbstinduktion auf, so ergeben sich die Kurven E, $J.w$ und E_s (Fig. 226).

Während die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen der Spule bereits nach t_1 Sekunden das Maximum erreicht hat, erlangt infolge der Selbstinduktion die Stromstärke später und zwar erst nach t_2 Sekunden ihren höchsten Wert.

Aus der Fig. 226 ergibt sich ferner

$$E^2 = (J.w)^2 + E_s^2, \tag{55}$$

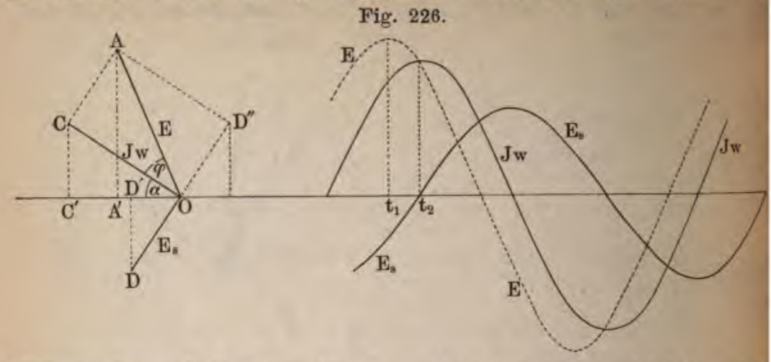
und die Phasendifferenz der Spannung gegen die Stromstärke ist durch den Winkel φ gegeben, indem

$$tang\,\varphi = \frac{E_s}{J.w} \tag{56}$$

ist. Fliefst ein Wechselstrom durch einen Widerstand ohne Selbstinduktion, z. B. durch eine bifilar gewickelte Drahtspule (der Kohlenfaden einer Glüh-

lampe ist praktisch genommen ohne Selbstinduktion), so ist E_s gleich Null und $\varphi = 0$; d. h. der Strom ist in gleicher Phase („in Schritt") mit der Spannung, und die Strecken OA und OC in Fig. 227 fallen zusammen. In diesem Falle haben die Spannungsdifferenz zwischen den Klemmen des

Fig. 226.



Widerstandes und die Stromstärke zu gleicher Zeit ihre höchsten Werte, und die Stromstärke geht von der einen Richtung in die andere über in demselben Augenblicke, wo die Spannungsdifferenz ihre Richtung wechselt.

§ 63. Das Ohmsche Gesetz für Wechselstromkreise.

Nach der Gleichung (54) haben wir für das Maximum der Selbstinduktion in der vorhin betrachteten Spule

$$E_s = 2\pi n z N 10^{-8} \text{ Volt.} \tag{57}$$

Da N selbst proportional der maximalen Stärke des Wechselstromes und der Windungszahl der Spule ist, so ist die Selbstinduktion dem Quadrate der Windungszahl der Spule proportional. N hängt ferner von der Permeabilität des Mediums ab, das die Windungen der Spule umgibt.

Nehmen wir an, dafs die Permeabilität konstant ist, was streng genommen nur für die Luft ($\mu = 1$) gilt und annähernd für Eisen, das weit von seiner magnetischen Sättigung entfernt ist, so dürfen wir also

$$N = \gamma \,.\, J \,.\, z$$

setzen, wobei γ als Konstante betrachtet wird. Setzt man diesen Ausdruck ein in (57), so ergibt sich für die maximale E.M.K. der Selbstinduktion

$$E_s = 2\pi n z^2 \gamma \,.\, J \,.\, 10^{-8} \text{ Volt.} \tag{58}$$

Für hohe magnetische Induktion im Eisen hängt γ selbst von der Induktion ab (vergl. Tabelle S. 41).

$z^2\gamma$ bezeichnen wir als den Selbstinduktionskoeffizienten L der Spule, der beim Eisen ebenfalls von der magnetischen Induktion abhängt.

Der Koeffizient L der Selbstinduktion wird in „Henry" gemessen. Bei Benutzung dieser Einheit ergibt sich

$$E_s = 2\pi n L J \,.\, 10^{-8} \text{ Volt.} \tag{59}$$

Führt man diesen Wert in die Gleichung (55) ein, so erhalten wir

$$E^2 = J^2 \left[w^2 + (2\pi n L)^2\right]$$

oder

$$J = \frac{E}{\sqrt{w^2 + (2\pi n L)^2}}. \tag{60}$$

Die Gleichung (60) stellt den mathematischen Ausdruck des Ohmschen esetzes für Wechselstromkreise dar.

Der Wechselstromwiderstand oder die Impedanz ergibt sich ig. 227) als Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Katheten zw. der Ohmsche Widerstand des Schliefsungskreises und der induktive iderstand $2\pi n L$ desselben sind.

Da die effektiven Werte der Spannung und der Stromstärke nach der leichung (52) aus dem maximalen Werte durch die Multiplikation mit $\frac{1}{\sqrt{2}}$ halten werden, so gilt die Gleichung (60) auch ohne weiteres für die effek-ven Werte:

$$\text{Effektive Stromstärke} = \frac{\text{Effektive Spannung}}{\text{Wechselstromwiderstand}}. \quad \text{1)}$$

Für die Phasendifferenz φ zwischen der Spannung und der Stromstärke halten wir

$$tang\,\varphi = \frac{2\pi n L}{w}. \quad \text{2)}$$

§ 64. Energie des Wechselstromes. Wattmeter. Fliefst n Wechselstrom, dessen effektive Stärke i Ampère ist, durch einen eiter, und ist e die effektive Spannung zwischen den Klemmen des tzteren, so ist die im Leiter verbrauchte elektrische Energie

$$A = e \cdot i \cos\varphi \text{ Watt}, \quad \text{3)}$$

enn φ die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem trome ist.

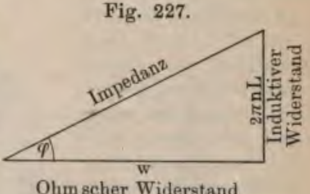
Bei induktionsfreien Widerständen erhalten wir einfach

$$A = ei \text{ Watt}, \quad \text{4)}$$

eil bei diesen $\varphi = 0$ und $\cos\varphi = 1$ ist.

Fig. 228a stellt die Kurve des Energieverbrauches in Watt dar für den all, dafs die Spannungsdifferenz und der Strom in gleicher Phase sind. ie Radien E und J, die bezw. das Maximum der Spannungsdifferenz und er Stromstärke vorstellen, fallen zusammen. ie Energie- (Watt-) Kurve liegt ganz oberlb der horizontalen Achse, und ihre Orditen sind in jedem Augenblicke gleich dem odukte der entsprechenden Ordinaten der rom- und Spannungskurve. Die von der attkurve und der horizontalen Achse bis 360° eingeschlossene Fläche stellt die ergie des Wechselstromes pro Periode dar.

Fig. 227.



Ohmscher Widerstand

Fig. 228b gibt die Energiekurve für eine asendifferenz von 30° zwischen der Spanng und dem Strome. Hierbei liegt bereits ein Teil der Energiekurve terhalb der horizontalen Achse, die von diesem Teile begrenzte Fläche t als negative Leistung zu rechnen und von der oberhalb der Achse darestellten in Abzug zu bringen. Die negative Leistung wächst noch mehr, enn die Phasendifferenz auf 60° (Fig. 228c) ansteigt. Bei 90° Phasendiffeenz (Fig. 228d) sind die von der Wattkurve oberhalb und unterhalb der chse begrenzten Flächen gleich, d. h. der Gesamtbetrag der Leistung ist n Übereinstimmung mit der Gleichung (63) gleich Null.

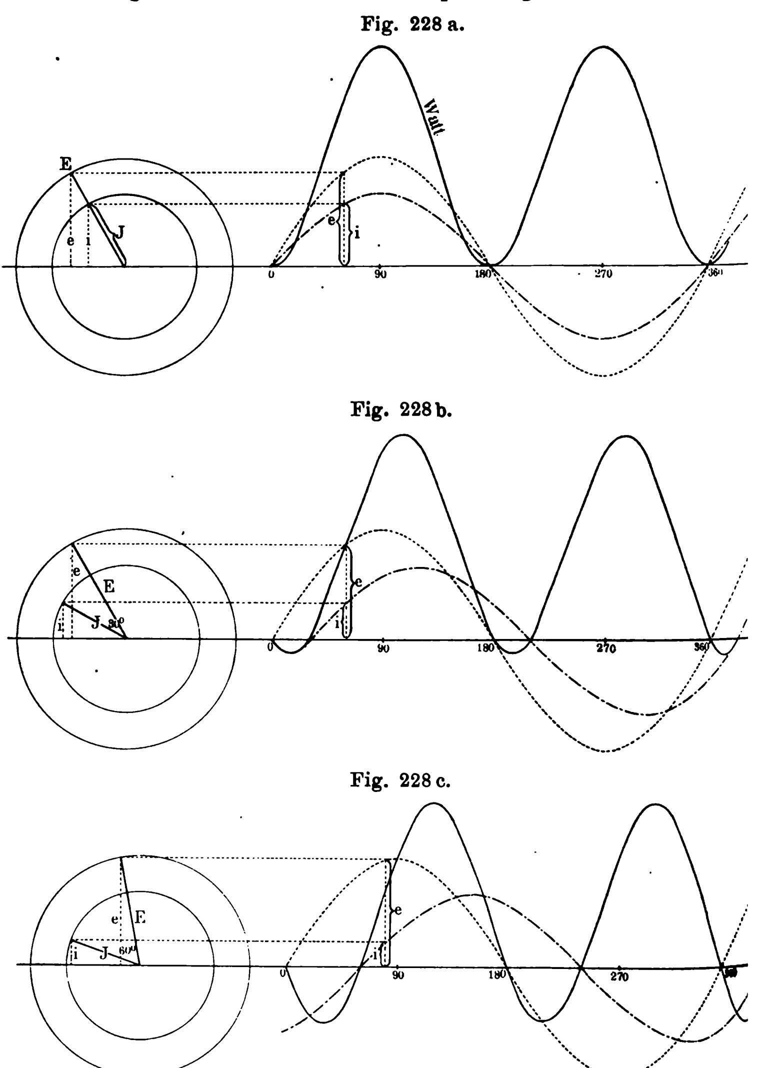
Der Energieverbrauch bei Gleich- und bei Wechselstrom kann n dem **Wattmeter oder Leistungsmesser** ermittelt werden.

Fliefst ein Gleichstrom durch einen Widerstand, so würde sich a der Messung der Stromstärke und der Spannung zwischen den Klemm

Fig. 228 a.

Fig. 228 b.

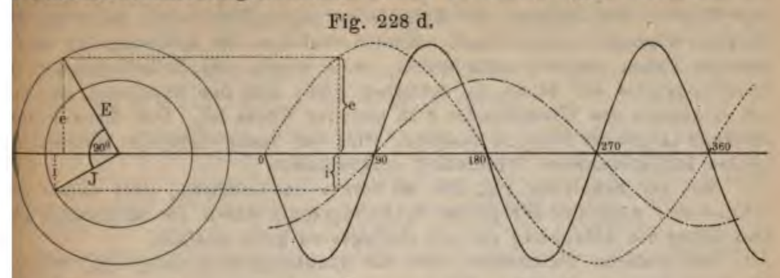
Fig. 228 c.



des Widerstandes nach der Gleichung (64) direkt der Energieve brauch im Widerstande ergeben. Bei Wechselstrom dagegen e halten wir durch das Produkt aus Stromstärke × Spannung nur d scheinbaren Energieverbrauch, wenn der Widerstand Selb

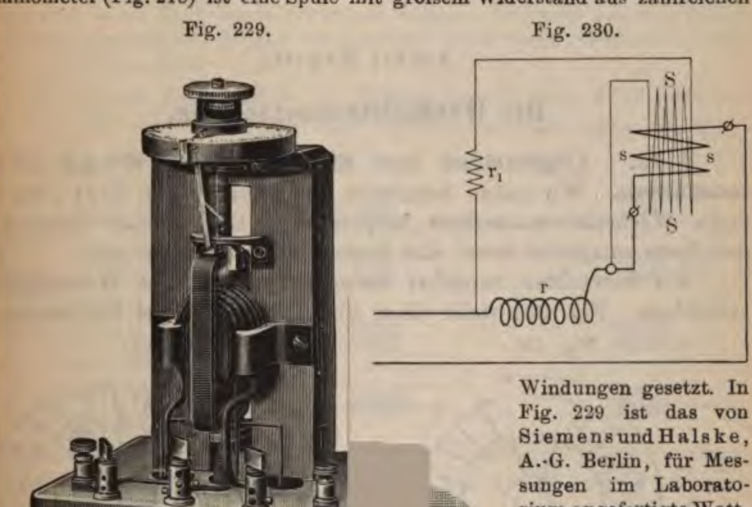
luktion hat. Für induktive Widerstände genügt also nicht die essung der Stromstärke und der Spannung, sondern es mufs zugleich e Phasenverschiebung zwischen beiden berücksichtigt werden.

Fig. 228 d.



Das Wattmeter gibt direkt die in induktionsfreien und induktiven Wideränden verbrauchte elektrische Energie an und ist folgendermafsen eingehtet. An Stelle der einen Windung aus dickem Kupferdraht im Elektronamometer (Fig. 218) ist eine Spule mit grofsem Widerstand aus zahlreichen

Fig. 229. Fig. 230.



Windungen gesetzt. In Fig. 229 ist das von Siemens und Halske, A.-G. Berlin, für Messungen im Laboratorium angefertigte Wattmeter dargestellt. Zur Erweiterung des Mefsbereiches sind zwei feste Spulen (Stromspulen) vorhanden. Rechtwinklig zu diesen hängt an einem Kokonfaden die bewegliche Spule (Spannungsspule).

Soll die im Widerstande r (Fig. 230) verbrauchte Energie gemessen rden, so ist mit den Klemmen von r die bewegliche Spannungsspule S bunden, eventuell unter Zwischenschaltung eines Widerstandes r_1. Die omspule s ist dagegen mit dem Widerstande r in Reihe geschaltet. Je hr Spannung in r verbraucht wird, desto gröfser ist der Strom in SS.

Die bewegliche Spule sucht sich unter dem Einflusse der Ströme, wie beim Elektrodynamometer, so zu stellen, dafs die Windungsebenen der festen und der beweglichen Spule einander parallel stehen. Durch die Torsionsfeder wird die bewegliche Spule wieder in eine zur festen senkrechte Lage gebracht. Der Winkel, um welchen die Spiralfeder angespannt wird, ist dann dem Energieverbrauche proportional. Eine Korrektion der Ablesung ist in den meisten Fällen deshalb erforderlich, weil wegen der Selbstinduktion der Spannungsspule der Strom in derselben nicht mit der Spannung zwischen den Klemmen des Widerstandes r in gleicher Phase ist. Um diese Phasendifferenz möglichst klein zu machen, wird der Spannungsspule meistens ein grofser induktionsfreier Widerstand vorgeschaltet.

Bei der Schaltung Fig. 230 ist ferner zu beachten, dafs aufser dem Strome in r auch der Strom der Spannungsspule durch die Stromspule geht und daher die Ablenkung um ein Geringes zu grofs ausfällt.

Bei anderen Wattmetern wird die Spannungsspule festgelegt, während die Stromspule in derselben Weise wie beim Elektrodynamometer (Fig. 218) beweglich ist.

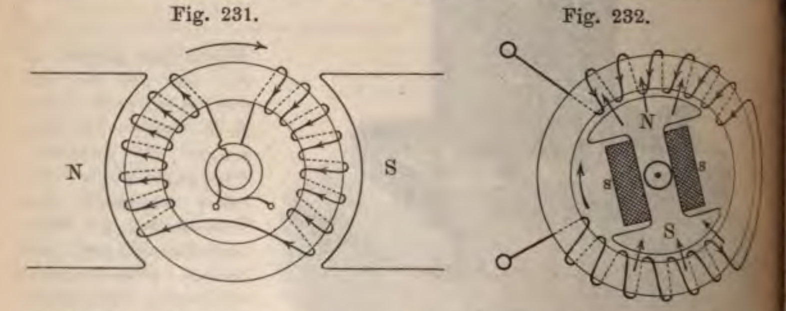
Achtes Kapitel.

Die Wechselstrommaschinen.

§ 65. Allgemeines und Einteilung der Wechselstrommaschinen. Wir haben bereits in § 59 (vergl. Fig. 212) eine einfache Wechselstrommaschine besprochen. Einer vollen Umdrehung der Spule entspricht dabei eine Periode des Wechselstromes.

Wir betrachten zunächst einige andere einfache Wechselstrommaschinen. Fig. 231 stellt einen Ringanker mit zwei hintereinander

Fig. 231. Fig. 232.



geschalteten gleichen Spulen dar, deren Mitten sich diametral gegenüber liegen. Der Anker rotiert zwischen zwei feststehenden Polen. Jede Spule bedeckt ungefähr ein Viertel des Ringumfanges. Auf der Welle des Ringes sind nebeneinander zwei isolierte Metallringe befestigt, auf denen die Bürsten schleifen. Die in den Spulen induzi E. M. K. ist am gröfsten, wenn die Spulenmitte und Polmitte sammenfallen, in diesem Augenblicke schneiden alle Drähte an

ıfsenseite des Ankers Kraftlinien. Geht die Spulenmitte durch die ıutrale Zone, so ist die E.M.K. gleich Null. Jeder ganzen Um-ehung des Ringes entspricht eine Periode der E.M.K.

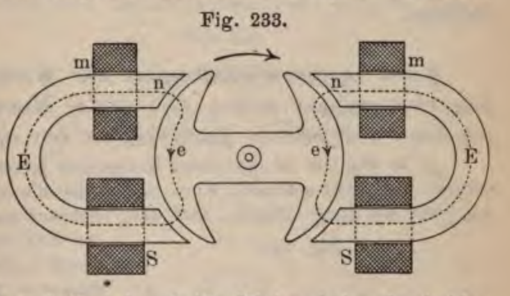
In Fig. 232 haben wir einen feststehenden Ring mit denselben pulen wie in Fig. 231. Im Innern des Ringes rotiert ein zweipoliger lektromagnet, dessen Erregerspule Gleichstrom durch zwei auf der elle befestigte Schleifringe mit Bürsten erhält.

In den betrachteten Fällen haben wir der Einfachheit wegen einen ing mit nur zwei Spulen und einem zweipoligen Magneten gewählt. Bei n in der Praxis ausgeführten Wechselstrommaschinen schaltet man eine öfsere Anzahl Drahtspulen entweder hintereinander oder parallel. Um ıfserdem eine gröfsere Anzahl Perioden pro Sekunde zu erhalten, hat das agnetgestell mehrere Polpaare. Diese Anordnungen sollen später besprochen erden.

Während bei Gleichstromdynamos die induzierten Spulen mit dem nker in Bewegung sind und der induzierende Teil — der Feldmagnet — ststeht, ist es bei Wechselstromdynamos gleichgültig, ob der induzierte ler der induzierende Teil die Bewegung ausführt; wir werden sogleich hen, dafs beide Teile sogar feststehen können, während nur der Wider-and des magnetischen Kreises der Dynamo durch einen rotierenden Eisen-örper verändert wird.

In diesem Falle stehen die Eisenkörper E (Fig. 233) fest; au m einen Schenkel derselben liegt die induzierende Spule m, durch elche ein konstanter leichstrom fliefst, auf m anderen Schenkel findet sich die indu-erte Spule S, in welcher r Wechselstrom her-rgebracht wird. Zwi-hen den vier Polen r Magnete dreht sich n Körper ee aus wei-em Eisen. Der Kraftflufs zwischen den beiden Polen jedes der beiden agnete ist am gröfsten, wenn der Eisenkörper die in Fig. 233 dar-stellte Lage hat.

Fig. 233.



Im Innern der Spulen SS ändern dabei die Kraftlinien cht ihre Richtung, sondern wegen der veränderlichen Permeabi-ät des Raumes zwischen Polen schwankt der Kraftlinienflufs zwischen ıem Minimum und Maximum auf und ab, wie die Ordinaten der g. 234. Bei den für den praktischen Betrieb ausgeführten Dynamos die Anordnung meist derartig, dafs die Feldstärke zwischen Null d einem Höchstbetrage schwankt. Dynamos, welche auf diesem inzipe beruhen, sind solche der Gleichpoltype, Induktortype er Induktionstype.

Dagegen ändert sich der Kraftlinienflufs in den induzierten Spulen ig. 231 und 232) von einem positiven Maximum durch den Wert

Null zu einem negativen Maximum und wieder durch Null zu einem positiven Maximum u. s. f., weil die Kraftlinien die induzierten Spulen bald in der einen, bald, nach einer Drehung des Ankers um 180°, in der entgegengesetzten Richtung durchsetzen. Bei den Maschinen dieser

Fig. 234.

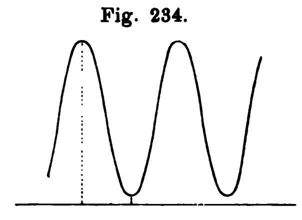
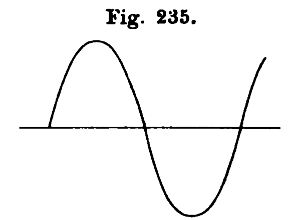


Fig. 235.



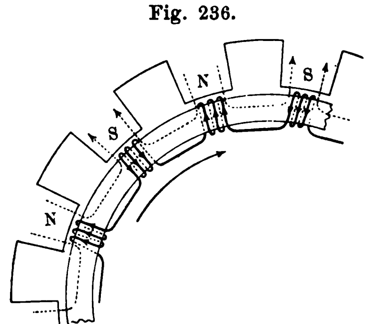
Art ändert sich also der magnetische Kraftlinienflufs in den Ankerspulen zwischen einem positiven Maximum und einem negativen Maximum und wird also durch die Ordinaten der Kurve (Fig. 235) dargestellt. Wechselstromdynamos nach diesem Prinzipe sind solche der Wechselpoltype.

Bei den Wechselstromdynamos kann der mehrpolige Feldmagnet entweder innerhalb oder aufserhalb des Ankers angebracht sein. Wir unterscheiden daher zwischen Innenpol- und Aufsenpolmaschinen. In beiden Fällen kann entweder der Anker oder das Magnetgestell rotieren.

§ 66. Ankerwickelungen für Wechselstromdynamos. Die Ankerwickelungen zeigen eine grofse Mannigfaltigkeit. Wir wollen aus den verschiedenen Ausführungen nur einige herausgreifen.

1. In Fig. 236 ist um einen Ringanker herum ein Kranz von Polen angeordnet, und zwar wechseln Nord- und Südpole miteinander ab. Die Pole stehen fest, und der Ring rotiert. Auf dem letzteren sind so viel Spulen angebracht, als Pole vorhanden sind, und der Abstand zwischen den Mitten zweier aufeinander folgender Spulen ist gleich dem Abstande der Mitten zweier aufeinander folgender Pole. Der Einfachheit wegen ist jede der Spulen mit drei Windungen gezeichnet und alle Ankerspulen sind in Serie zwischen zwei auf der Welle des Ankers voneinander isolierten Kollektorringen geschaltet.

Fig. 236.



Die wirksamen Teile der Wickelung liegen an der Aufsenseite des Ankers. Fallen Spulenmitten und Polmitten zusammen, so ist die in den Spulen induzierte E. M. K. am gröfsten. Liegt die Spule in der Mitte zwischen zwei Polen, so ist der magnetische Kraftflufs in ihr am gröfsten, und die induzierte E. M. K. ist Null und wechselt ihre Richtung. Hat die Spule sich um den Abstand zweier Pole weiter gedreht, so hat die induzierte E. M. K. wieder denselben Betrag.

Ist p die Zahl der Polpaare, also $2p$ die Anzahl der Pole, und macht r Anker in der Minute n Umdrehungen, so ist die

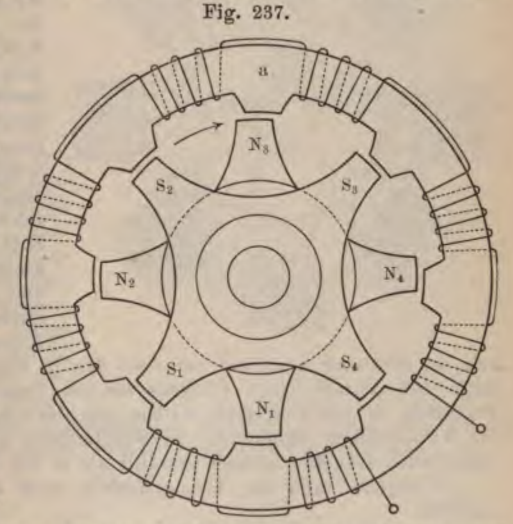
$$\left.\begin{aligned}&\text{Zahl der Perioden pro Sekunde} = \frac{p \cdot n}{60}\\ &\text{und die}\\ &\text{Zahl der Wechsel pro Sekunde} = \frac{2\,pn}{60}\end{aligned}\right\} \qquad (65)$$

Fig. 236 stellt eine Wechselpoltype mit Ringankerwickelung und fest- ehenden Aufsenpolen dar.

Um den Ringanker besser auszunutzen, könnte man zwischen den in g. 236 eingezeichneten Spulen eine zweite Serie von ebenso beschaffenen ulen anbringen, so dafs jede Spule der einen Serie immer in der Mitte ischen zwei benachbarten Spulen der anderen Serie liegt. Diese zweite ihe von Spulen ist ebenfalls zwischen zwei auf der Welle befestigten Kollektor- gen eingeschaltet. Von der Maschine lassen sich dann zwei Wechselströme icher Wechselzahl entnehmen, und zwischen den Kollektorringen jedes ares ist dieselbe Wechselspannung vorhanden. Während die eine Wechsel- annung aber ihren höchsten Wert hat, ist die andere gleich Null; sind ischen den Bürsten jedes Paares zwei induktionsfreie Widerstände einge- altet, so würden die Ströme in diesen Widerständen eine Phasendiffe- nz von 90° (eine Viertelperiode) haben. Zwei solche Ströme sind bereits her (vergl. § 61) betrachtet.

2. In Fig. 237 ist schematisch eine Wechselstrommaschine mit feststehen- n Ringanker dargestellt. Innerhalb des Ringankers dreht sich ein Kranz n Magnetpolen, abwech- nd Nord- und Südpole. r Ring besitzt an seiner nenseite Ansätze. Stehen Pole diesen Ansätzen genüber, so ist der gnetische Kraftflufs in n Spulen am gröfsten d die in ihnen indu- rte E. M. K. ist gleich ll.

Fig. 237.



Auch hier sind alle uzierten Spulen zwi- en zwei festen Pol- mmen in Serie ge- altet.

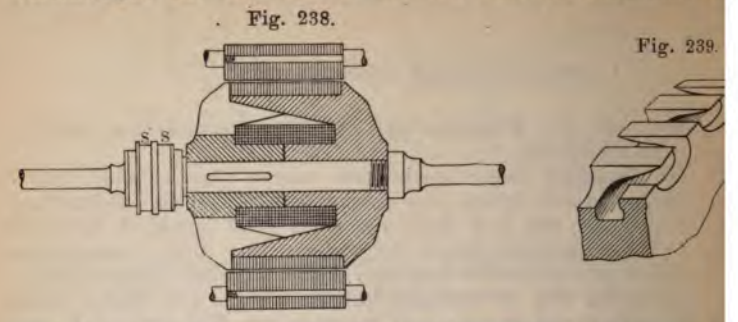
Der Feldmagnet (Fig.) enthält acht Pol- ken; der magnetische ftlinienflufs verteilt in vier gleichnamige zacken. Dabei greifen ungleichnamigen Pole klauenartig ineinander ein (Fig. 238 und 239). Zur egung des Magneten ist nur eine Spule vorhanden, deren Achse mit der lle zusammenfällt, und deren Enden an zwei auf der Welle befestigte leifringe s — s (Fig. 238) gelegt sind, die zur Zu- und Ableitung des Er- ungsstromes dienen.

Fig. 237 stellt also eine Wechselpoltype mit Ringanker und mit rotie- den Innenpolen dar.

3. Fig. 240 ist das Schema einer **Wechselstromdynam** **Trommelwickelung und Aufsenpolen.** Auf der Oberfläche des liegen die Ankerleiter in Nuten. Sämtliche wirksamen Drähte sind Verbindungen auf der vorderen und der hinteren Stirnfläche in

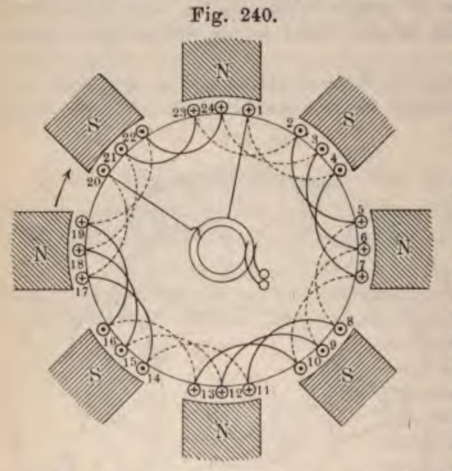
Fig. 238.

Fig. 239.



geschaltet. Die Wickelung des Ankers ist, in eine Ebene ausgebrei Fig. 241 dargestellt. Hierbei sind die Verbindungen auf der vordere der hinteren Stirnfläche durch gebrochene Linien dargestellt. Der Tro anker (Fig. 240) hat W **wickelung.** Die Drähte 20 sind mit den Schleif verbunden.

Fig. 240.



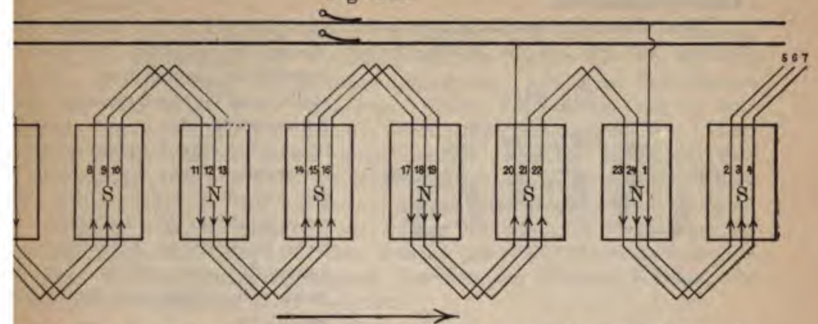
Bei der in Fig. 240 stellten Lage des Ankers in der Wickelung ind E.M.K. am gröfsten. S sich die Ankerleiter vo Polflächen bewegen, beh induzierte E.M.K. ann ihren höchsten Wert. We wirksamen Ankerleiter einander vor den Polfläche schwinden, nimmt die ind E.M.K. allmählich ab un gleich Null, wenn die (von je drei Drähten zwischen zwei Polen liegt Kurve der E.M.K. weicht von der Sinuskurve ab und hat etwa den in der Fig. 242 dargestellte lauf. Die Gestalt hängt übrigens von der Polbreite, dem Abstande Polmitten und der Breite ab, welche jede der acht Gruppen wirksamer am Ankerumfang einnimmt. In Wirklichkeit wird die Zahl der wirk Ankerleiter erheblich gröfser gewählt als in Fig. 241.

Übrigens kann der Trommelanker auch eine **Schleifenwick** erhalten.

4. **Trommelanker mit nebeneinander gelegten Spulen** (Sp **anker**), Fig. 243 und 244. Die Spulen werden entweder auf den Anker aufgelegt oder die Spulenseiten (die wirksamen Drähte) wer Nuten am Umfange des Ankers untergebracht, so dafs die Windung der Spulen der Ankerwelle parallel liegen. In Fig. 244 ist die Wic teilweise in eine Ebene ausgebreitet, sie enthält acht gleiche Spulen, Serie geschaltet sind. Die Spulen sind unter sich an einer der Stirn

Ankers verbunden. Jede Spule enthält der Übersicht wegen nur vier dungen, in Wirklichkeit wird die Zahl der Windungen erheblich gröſser ge-

Fig. 241.



lt. Von der Spulenbreite s (Fig. 243), sowie von dem Verhältnis der breite P zum Abstande T der Polmitten hängt die Form der Kurve der zierten E.M.K. ab.

Auch die in Fig. 243 dargestellte Wechselstromdynamo gehört zu den chselpoltypen.

5. Zackenwickelung. Die allgemeine Anordnung zeigt Fig. 245. sind die über die nach innen gekehrten Ansätze eines Ringes geschobenen

Fig. 242.

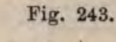
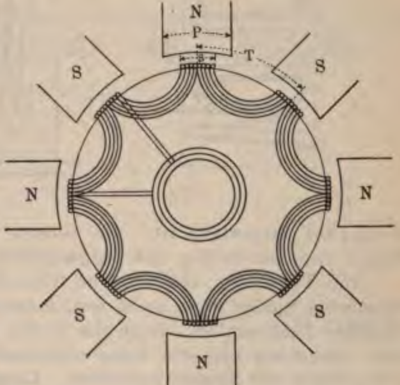


Fig. 243.



zierten Spulen, welche enter alle hintereinander oder zwei oder mehreren Reihen allel geschaltet sind. Den len steht eine gleiche Anl von Polen gegenüber, abhselnd Nord- und Südpole, durch Gleichstrom erregt den. Rotiert der Polkranz, rend der Ring mit den len $s - s$ feststeht (Innenmaschine), so wird den Magnetspulen der Strom durch zwei auf der le befestigte und voneinander isolierte Schleifringe zugeführt.

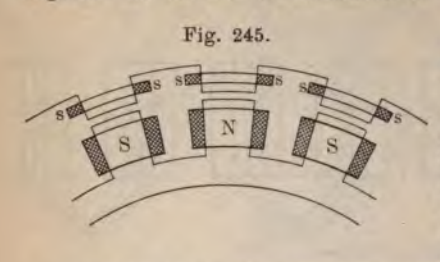
Fig. 244.



Die in Fig. 245 dargestellte Anordnung kann man auch umkehren, dem die Pole des Feldmagneten aufserhalb des Ringes liegen und feststeh während in dem von den Polen umschlossenen Raum der Zackenanker roti (Aufsenpolmaschine).

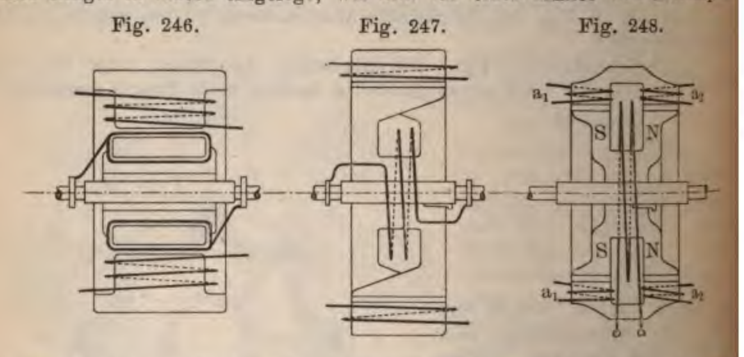
Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Schuckert & Co. hat die in d Figuren 246 bis 248 in schematischer Weise dargestellten Wechselstro maschinen konstruiert. Fig. 2 stellt eine Wechselstromdynamo m Aufsenpolen dar, und jeder P trägt seine eigene Erregerspule. D rotierende Anker ist ein Ring, u der auf ihm angebrachten Wick lung wird der Wechselstrom dur zwei Schleifringe entnommen, vo denen der eine rechts, der and links vom Anker auf der Welle b festigt ist.

Fig. 245.



Bei der in Fig. 247 dargestellten Type stehen die Spulen fest, in welche der Wechselstrom induziert wird. Diese Spulen sind an der Innenseit eines Ringes in Nuten eingelegt, wie dies für einen Anker mit Aufsenpole

Fig. 246. Fig. 247. Fig. 248.



in Fig. 244 dargestellt ist. Im Innern des Ringes rotiert ein mehrpolige Magnet von der in Fig. 238 dargestellten Form.

Die Type (Fig. 248) ist eine Gleichpoltype. Der Eisenring mit de induzierten Spulen $a_1\,a_2$ steht fest, innerhalb desselben rotiert ein Polrad mi doppelter Zackenreihe. Auch die grofse Erregerspule steht fest. In diese Falle haben wir also nur einen rotierenden Eisenkörper, der die Permeabilitä in der Nähe der Spulen verändert. Liegen die Zacken des Polrades vor de Spulen $a_1\,a_2$, so ist der Kraftlinienflufs in den letzteren am gröfsten. Durc die Spulen $a_1\,a_2$ gehen die Kraftlinien stets in derselben Richtung, weil d rechte Seite des Polrades entgegengesetzte Pole hat wie die linke Seite.

§ 67. E.M.K. der Wechselstromdynamo, Polklemmen-spannung und Leistung derselben. Für die E.M.K. der Wechse stromdynamos ergibt sich eine ähnliche Gleichung wie für die d Gleichstromdynamos. Ist z die Zahl der in Reihe geschalteten Anke leiter, Φ der Kraftlinienflufs, der aus jedem Nordpol in den Anke übergeht, n die Tourenzahl des Ankers bezw. des Magneten und p di Zahl der Polpaare, so haben wir für die effektive E.M.K.

$$E = \frac{k.n.p.z.\Phi}{60} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.} \qquad \text{i6)}$$

k ist dabei ein Faktor, der von der Kurvenform des Wechsel-tromes abhängt.

Bezüglich der Kurvenform gelten die Bemerkungen in § 66, 4. Dieselbe ängt von der Ausführung der Wickelung ab, sie wird auch von der Art nd Gröfse der Belastung der Dynamo beeinflufst. Auf diese Verhältnisse önnen wir hier nicht weiter eingehen. Keine Kurvenform hat für alle raktischen Anwendungen den gleichen Wert. Für den Betrieb von Trans-ormatoren eignen sich am besten spitze Kurven, weil bei diesen die Ver-uste durch Hysteresis und auch die Magnetisierungsarbeit geringer ausfallen ls bei flachen Kurven. Da die Isolation nach dem Höchstwerte der Span-ung bemessen wird, so mufs sie bei spitzen Kurven noch sorgfältiger als ei flachen ausgeführt sein. Für den Betrieb des elektrischen Lichtbogens ind flache Kurven günstiger, dagegen für den der Motoren Kurven, die en Sinuskurven möglichst nahe kommen.

Die Klemmenspannung der Wechselstromdynamo ergibt sich als ie Differenz zwischen der E.M.K. und dem Spannungsverlust im nker. Letzterer setzt sich nach der Gleichung (55) aus zwei Kom-onenten zusammen: 1. dem Spannungsabfall infolge des Ohmschen Viderstandes. Dieser ist mit dem Strome i im Anker in gleicher hase, 2. dem Spannungsabfall infolge der Selbstinduktion in der nkerwickelung. Ist L er Selbstinduktions-oeffizient des Ankers nd n die Periodenzahl der Frequenz des Vechselstromes, so ist er induktive Abfall der pannung im Anker = $\pi n L i$. In Fig. 249 tellt e_0 den gesamten pannungsabfall im nker dar. Besteht der ufsere Widerstand aus arallel geschalteten lühlampen, so ist prak-sch die Polklemmen-pannung E_p in gleicher hase mit dem Strom i, nd die Nutzleistung der ynamo ist $A_n = E_p . i$. In Fig. 249 stellt dann E die E.M.K. der ynamo dar. Die Phasennacheilung des Stromes gegen die E.M.K. t in diesem Falle durch den Winkel α gegeben.

Fig. 249.

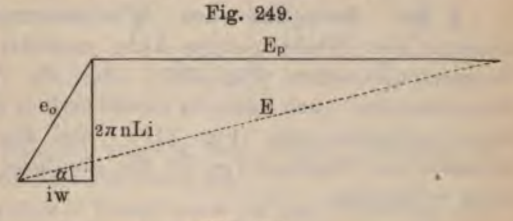


Fig. 250.

Enthält dagegen der äufsere Stromkreis Widerstände mit Selbst-duktion, so hat der Strom eine Phasendifferenz (Verzögerung) egen die Polklemmenspannung.

Ist w_a der äufsere Widerstand in Ohm und L_a der Selbstinduktionskoeffizient des äufseren Stromkreises, so haben wir für die E.M.K. das Diagramm Fig. 250.

Dabei ist φ die Phasendifferenz zwischen der Polklemmenspannung und der Stromstärke i. In diesem Falle ist die Nutzleistung der Dynamo $E_p . i . cos \varphi$, während ihre scheinbare Leistung $E_p . i$ ist. $cos \varphi$ ist der sogenannte Leistungsfaktor.

In der Wechselstromdynamo treten ähnliche Verluste auf wie in der Gleichstromdynamo, wir haben

1. den Energieverlust in der Ankerwickelung,
2. den Energieverlust in den Magnetspulen,
3. die Verluste durch Hysteresis und Wirbelströme,
4. die Verluste durch Reibung in den Lagern, durch Bürstenreibung und Luftwiderstand.

Für den totalen Wirkungsgrad der Wechselstromdynamos gelten ähnliche Werte wie für die Gleichstromdynamos (siehe S. 96).

Bezüglich der Periodenzahl (Frequenz) sei bemerkt, dafs in Deutschland die am meisten gebräuchliche Frequenz 50 pro Sekunde, d. h. 6000 Polwechsel pro Minute, ist.

§ 68. **Erregung der Wechselstromdynamos.** Bei den Dynamos der Wechselpoltype kann entweder jeder Pol seine eigene Erregerspule tragen (Fig. 236), oder die Pole tragen abwechselnd Erregerspulen. Auch kann für sämtliche Pole eine gemeinsame Erregerspule vorhanden sein (Fig. 247). Bei den meisten Wechselstromdynamos der Gleichpoltype ist für sämtliche Pole nur eine Erregerspule vorgesehen.

In Bezug auf die Erregung kann man ferner unterscheiden:

1. Wechselstromdynamos mit permanenten Magneten, die sich nur für sehr geringe Leistungen eignen.

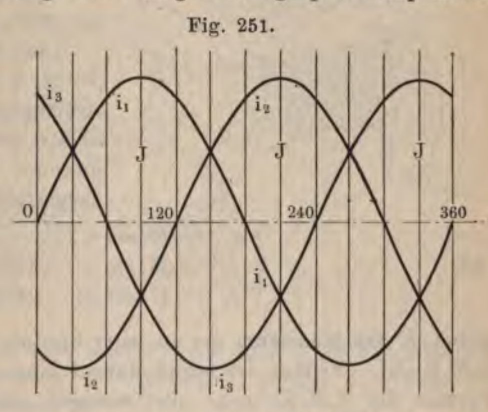
2. Wechselstromdynamos mit Elektromagneten und zwar mit Sondererregung, bei denen der durch die Magnetspulen fliefsende Gleichstrom von einer besonderen Dynamo oder von einem Akkumulator entnommen wird. Bei grofsen Wechselstromdynamos bringt man häufig auf die Ankerwelle noch einen kleinen Gleichstromanker, der sich in einem besonderen Magnetfelde dreht und den Erregerstrom liefert. Die Erregerdynamo hat Nebenschlufswickelung. Im äufseren Stromkreise derselben liegen die Magnetspulen und ein regulierbarer Widerstand in Reihenschaltung. Durch letzteren, wie auch durch Änderung der Polklemmenspannung mittels des Nebenschlufsregulators kann die Stärke des Erregungsstromes gewählt und damit nach der Gleichung (66) Φ und E veränd[ert] werden. Diese Erregung durch Fremdstrom ist bei den Wechselstro[m]dynamos die gebräuchlichste.

3. Wechselstromdynamos mit Elektromagneten und mit elbsterregung. Hierbei wird ein kleiner Teil des vom Anker r Wechselstromdynamo gelieferten Stromes abgezweigt und durch nen Kommutator in Gleichstrom verwandelt, der nun durch die agnetspulen fliefst. Der Kommutator befindet sich auf der Welle r Wechselstromdynamo. Diese Methode der Erregung ist wegen r Empfindlichkeit des Kommutators wenig empfehlenswert.

§ 69. Mehrphasenwickelungen und Mehrphasendynamo.

an unterscheidet zwischen Einphasen- und Mehrphasendynamos. e ersteren, deren Wickelungen im vorigen Paragraphen besprochen nd, liefern nur einen echselstrom, während e letzteren zwei, drei er mehrere Wechselröme gleicher Frequenz d im allgemeinen auch eicher Stärke liefern, e aber in der Phase geneinander verschon sind. In den Mehrasenmaschinen, von nen uns besonders die Dreiphasenmaschinen teressieren, sind die ickelungssysteme gegeneinander versetzt, wie dies im Anschlufs an Fig. 236 bereits in § 66 hervorgehoben ist.

Fig. 251.



Die Zweiphasendynamo liefert zwei in der Phase um eine ertelperiode oder um 90° gegeneinander verschobene Wechselströme eicher Frequenz (siehe Fig. 222).

Die Dreiphasendynamo liefert drei gleiche Wechselströme derben Periodenzahl, welche eine Phasendifferenz von 120° gegenander haben (Fig. 251). Ist J die maximale Stärke jedes dieser drei echselströme, so werden dieselben dargestellt durch

$$7)\quad \begin{cases} i_1 = J . sin\, \alpha, \\ i_2 = J sin\, (\alpha - 120^0), \\ i_3 = J sin\, (\alpha - 240^0). \end{cases}$$

Dabei sind i_1, i_2 und i_3 die augenblicklichen Stromstärken für en bestimmten Wert von α oder für eine bestimmte diesem Werte tsprechende Stellung des Ankers.

Fig. 252 (a. f. S.) stellt die Anordnung der Spulen des Ankers einer eiphasendynamo dar. Die den drei Phasen angehörenden Spulen sind zw. mit I, II und III bezeichnet. Der Anker mit der Wickelung ht fest, während im Innern desselben ein mehrpoliger Magnet ro-

tiert, dessen Pole abwechselnd Nord- und Südpole sind. Jeder der Pole trägt seine Erregerspule. Haben während der Umdrehung die Pole solche Lage, dafs z. B. der Kraftlinienflufs in den Spulen I am gröfsten ist, so ist er kleiner, aber gleich in den beiden anderen Spulengruppen. Bei der in der Figur angenommenen Drehungsrichtung nimmt der Kraftflufs dann bei weiterer Drehung des Magneten in der Spule II zu, während er in III abnimmt.

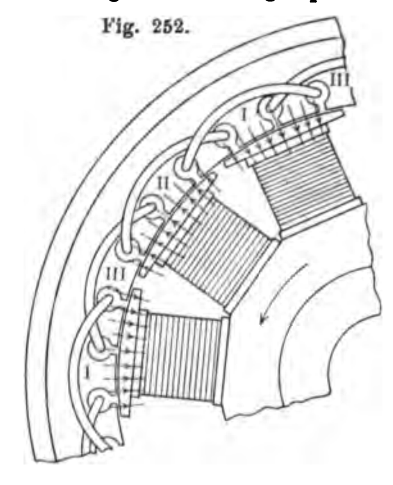


Fig. 252.

Nach den früheren Bemerkungen (vergl. § 66) entstehen in den drei Spulengruppen elektromotorische Kräfte, deren Phasendifferenz gegeneinander 120° beträgt, so dafs sie dargestellt werden durch

$$(68)\qquad \begin{cases} e_1 = E \cdot \sin\alpha, \\ e_2 = E \cdot \sin(\alpha - 120), \\ e_3 = E \cdot \sin(\alpha - 240), \end{cases}$$

wobei E das Maximum der in jeder Spulengruppe (Phase) induzierten E.M.K. ist. Früher ist schon darauf hingewiesen, dafs der zeitliche Verlauf der E.M.K. mehr oder weniger erheblich von der Form der Sinuskurve abweicht, wir wollen jedoch für die nachfolgenden Betrachtungen stets einen sinusartigen Verlauf der E.M.K. voraussetzen. Der zeitliche Verlauf der elektromotorischen Kräfte ist auch in Fig. 251 dargestellt. Für jeden Zeitpunkt ist die Summe der Ordinaten der drei Kurven, d. h. die Summe der augenblicklichen elektromotorischen Kräfte gleich Null, d. h.

$$(69)\qquad e_1 + e_2 + e_3 = 0.$$

Dies ergibt sich übrigens auch aus den Gleichungen (68). Die Ströme der drei Spulengruppen ändern sich im allgemeinen wie die elektromotorischen Kräfte, so dafs in jedem Zeitpunkte auch

$$(70)\qquad i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

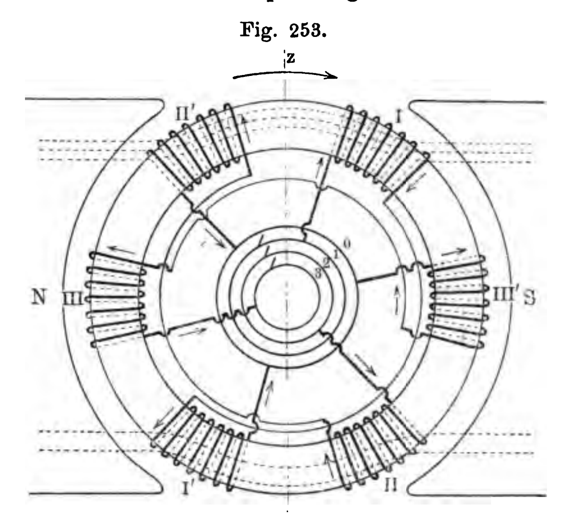
ist.

Fig. 253 stellt die Anordnung der Spulen auf dem Ringanker einer Dreiphasendynamo mit zweipoligem Felde dar. Die Spulen I, II und III sind um 120° gegeneinander versetzt; ebenso die Spulen I', II' und III'. Die erste Phase enthält die Spulen I I' in Serienschaltung und liegt mit dem Anfange von I am Schleifring 1, mit dem Ende von I' am Schleifringe 0. Mit letzterem sind auch die Enden von II' und III' verbunden. Wir haben damit die in Fig. 254 schematisch dar-

Sternschaltung. Die Schleifringe in Fig. 253 liegen in
ıkeit nebeneinander auf der Ankerwelle.

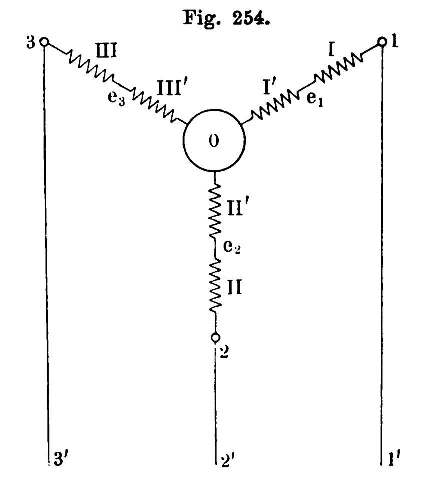
e_2 und e_3 seien die augenblicklichen Phasenspannungen, d. h.
enblicklichen Werte der Spannungsdifferenzen zwischen 1 und

Fig. 253.



d 0, 3 und 0. Den Punkten 1, 2 und 3 in Fig. 254 ent-
ı die Schleifringe bezw. die Bürsten 1, 2 und 3 in Fig. 253.
ı Bürsten auf 1, 2 und 3
lie Leitungen 1 — 1′,
3 — 3′ ausgezogen. Wir
n zunächst die Span-
fferenzen zwischen diesen
en, d. h. die sogenannten
spannungen. Ist l_0 die
r der drei Spulengruppen
) erzeugte effektive
, so ist die effektive
pannung $\mathfrak{E}_0$

Fig. 254.



$$\mathfrak{E}_0 = l_0 \cdot \sqrt{3}.$$

e augenblicklichen Werte der
ıotorischen Kräfte in den
asen ergeben sich als die
n der Endpunkte dreier
welche zu je zweien unter-
· den Winkel 120° einschliefsen und deren Länge dem Maximum
ızierten E.M.K. entspricht (Fig. 255). In Fig. 253 sind die Rich-
der in den Spulen induzierten elektromotorischen Kräfte durch Pfeile
tet. Wirkt die E.M.K. einer Spule bezw. von den Schleifringen
in der Richtung nach dem Ringe 0, so soll sie als positiv be-

trachtet werden. Für die in Fig. 253 dargestellte Stellung des Ankers sind also die augenblicklichen Spannungsdifferenzen in den Spulen I I', und II II' durch positive Ordinaten darzustellen; dagegen die Spannungsdifferenz zwischen 0 und 3 durch eine negative Ordinate. Für dieselbe Stellung des Ankers hat die E. M. K. in den Spulen III III' ihren Höchstbetrag $= E$. Da die Spulen in Bezug auf die neutrale Achse symmetrisch liegen, so sind die elektromotorischen Kräfte in den Spulenpaaren I I' und II II' für die Stellung des Ankers in Fig. 253 einander gleich.

Da in den beiden Spulenpaaren I I' und II II' (Fig. 253) die elektromotorischen Kräfte für die der Figur entsprechende Stellung des Ankers von 1 und 2 nach 0 gerichtet sind, so ist die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen 1 1' und 2 2' in dem betrachteten Augenblicke gleich Null: konstruiert man geometrisch die Differenz der Strecken 0 1 und 0 2, d. h. zieht man 0 2' und die Resultierende von 0 1 und 0 2', so ergibt sich die Strecke 0 I, welche das Maximum der Spannungsdifferenz zwischen der Leitung 11' und 22' darstellt, d. h. das Maximum der Hauptspannung $\mathfrak{E}$. Die geometrische Betrachtung ergibt leicht, dafs

$$\mathfrak{E} = E \,.\, \sqrt{3}$$

ist. Dieselbe Beziehung gilt auch für die effektiven Werte dieser Spannungsdifferenzen.

Da für die betrachtete Stellung diese Resultierende mit der horizontalen Achse zusammenfällt, so ist auch für denselben Augenblick die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen 1—1' und 2—2' gleich Null.

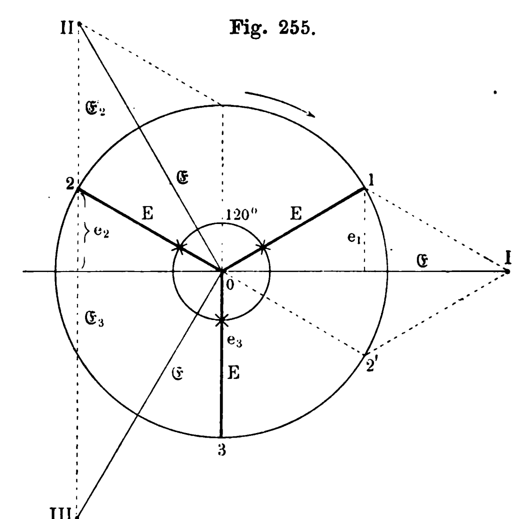


Fig. 255.

In derselben Weise stellt die Strecke 0 II das Maximum der Hauptspannung zwischen den Leitungen 2 — 2' und 3 — 3' dar. Durchläuft man (Fig. 253) vom Schleifringe 2 aus die Spulen II und II' und dann über 0 auch die Spulen III und III', so wirken auf dem ganzen Wege die elektromotorischen Kräfte in derselben Richtung. Dementsprechend ist die augenblickliche Spannungsdifferenz zwischen 2 — 2' und 3 — 3' für die Stellung des Ankers, Fig. 253, durch das von II (Fig. 255) auf die horizontale Achse gefällte Lot dargestellt.

Die von den Endpunkten I, II und III der drei Radien $\mathfrak{E}$ gefällten Lote stellen also die augenblicklichen Werte der Spannungsdifferenzen zwischen den Leitungen 1 — 1', 2 — 2' und 3 — 3', d. h. der Hauptspannungen dar. Rotieren die Radien 0 1, 0 2 und 0 3, so rotieren mit derselben Winkelgeschwindigkeit die Radien $\mathfrak{E}$.

Die Hauptspannungen 0 I, 0 II und 0 III eilen den Phasenspannungen 0 1, 0 2, 0 3 bezw. in der Phase um 30° voraus.

Die Augenblickswerte der drei Hauptspannungen lassen sich ebenfalls darstellen durch

$$
2) \quad \begin{cases} \mathfrak{E}_1 = \mathfrak{E}\, sin\,(\alpha + 30), \\ \mathfrak{E}_2 = \mathfrak{E}\, sin\,(\alpha + 30 - 120), \\ \mathfrak{E}_3 = \mathfrak{E}\, sin\,(\alpha + 30 - 240). \end{cases}
$$

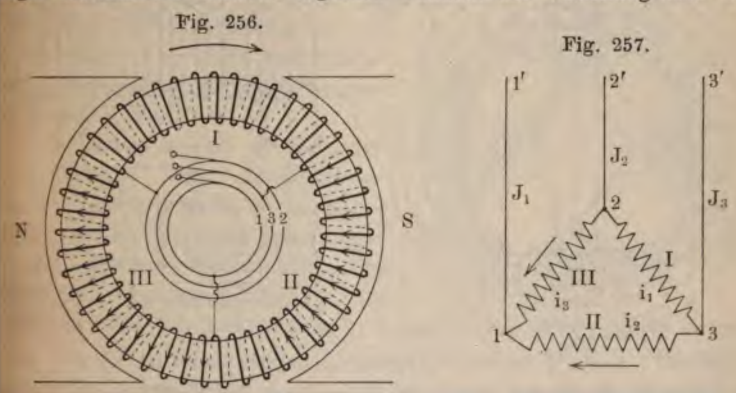
Auch hier ergibt sich, dafs

$$\mathfrak{E}_1 + \mathfrak{E}_2 + \mathfrak{E}_3 = 0$$

t.

Dreiecksschaltung. Fig. 256 stellt einen Grammeschen Ring[1]) n zweipoligen Felde dar. Von den drei um 120° am inneren Umfange des inges voneinander entfernt liegenden Punkten der Wickelung sind Ver-

Fig. 256. Fig. 257.



ndungen nach den drei Schleifringen 1—2—3 gelegt, auf denen Bürsten zur nahme der Wechselströme schleifen. Die drei Ringe sitzen isoliert neben- nander auf der Welle. Die Ankersegmente seien mit I, II und III be- ichnet. In denselben werden elektromotorische Kräfte wechselnder Rich- ng und Gröfse hervorgebracht. Fällt die Mitte eines Ankersegmentes mit r neutralen Zone zusammen (wie bei I in Fig. 256), so ist die ganze in esem Segmente induzierte E.M.K. gleich Null; fällt dagegen die Mitte des gmentes vor die Polmitte, so ist die induzierte E.M.K. am gröfsten.

Die Schaltung der drei Spulen auf dem Ringanker ist schematisch in g. 257 (Dreiecksschaltung) dargestellt.

Die an die Spulen gesetzten Pfeile entsprechen den Richtungen der in- zierten elektromotorischen Kräfte für die Ankerstellung Fig. 256.

Die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen 3 — 3′ und 1 — 1′ ist eich der in der Spule II induzierten E.M.K. vermindert um den Spannungs- rlust in der Spule. Bei der Dreiecksschaltung ist also die Haupt- annung gleich der Phasenspannung.

Dagegen ergeben sich die Ströme J in den Hauptleitungen als die Re- ltanten der Ströme zweier Spulengruppen (Phasen). Ist die effektive Stärke s Stromes jeder Spulengruppe $= i_0$, so ist die effektive Stromstärke J_0 in ler der drei Hauptleitungen

$$3) \quad J_0 = i_0 \,.\, \sqrt{3}.$$

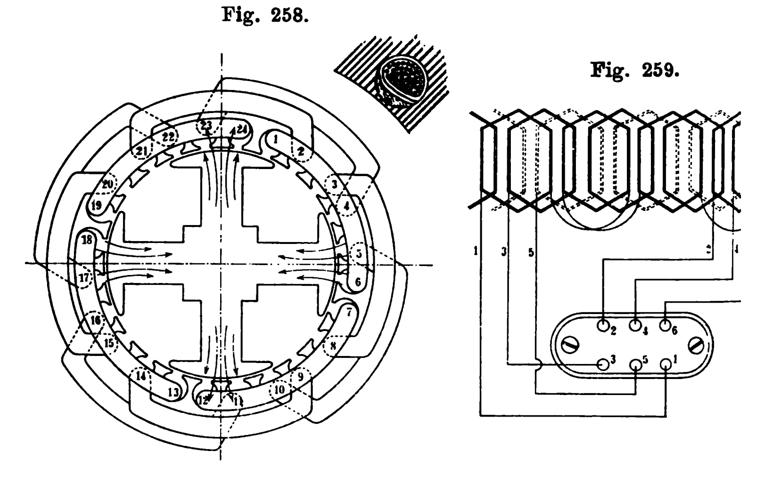
§ 70. Dreiphasenstrom- oder Drehstromdynamos.

Die eiphasenstromdynamos werden mehrpolig ausgeführt. Fig. 258 stellt

[1]) Aus diesem Ringe kann neben den Dreiphasenströmen auch Gleichstrom nommen werden (Doppelmaschine, s. § 124).

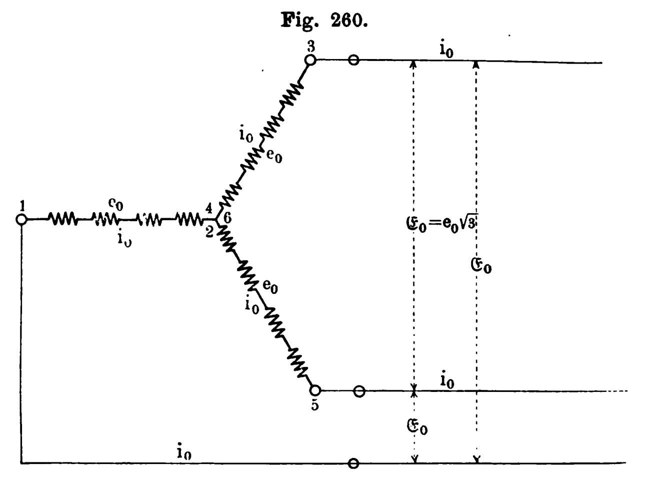
die Wickelung einer vierpoligen Drehstromdynamo dar. Der .
mit den Spulen steht fest. Im Innern des Ankers, an dessen l
seite die Spulen in fest geschlossenen Nuten eingelegt sind, rotie
vierpolige Magnet. Jeder der vier Schenkel trägt seine Erreger

Fig. 258. Fig. 259.



Die Pfeile an den Polen geben die Richtungen der Kraftlinien an.
Strom wird zu den Erregerspulen, die in der Fig. 258 nicht darg
sind, zu- und abgeleitet durch zwei auf der Welle voneinander is
Schleifringe. Die Ankerspulen greifen übereinander weg. In Fi

Fig. 260.

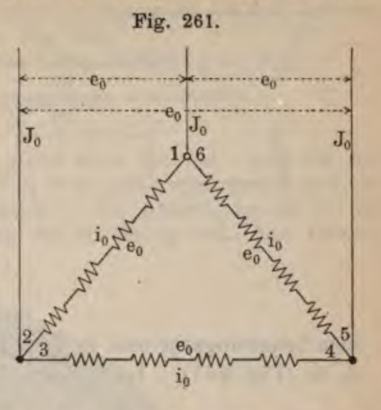


ist die Innenseite des Ankers abgewickelt gezeichnet. Die eine
ist durch dicke Striche, die zweite durch feine Striche, die dritte
punktierte Linien angedeutet. Die Polbreite ist so gewählt, daſs
Fig. 258 der Pol gleichzeitig vier nebeneinander liegende Nuten über

Die sechs Enden der drei Spulengruppen (Phasen) sind an die
nmen 1 bis 6 (Fig. 259) gelegt.

Verbindet man die Klemmen 2, 4, 6 miteinander durch einen
ferdrahtbügel, und zweigt man die drei Hauptleitungen ab von
Klemmen 3, 5 und 1, so sind
drei Phasen des Ankers in
rnschaltung verbunden. Bei
sartigem Verlaufe ist nach der
chung (70) die Summe der an
Klemmen 2 — 4 — 6 zusammen-
fenden Ströme für jeden Augen-
k gleich Null.

Fig. 261.



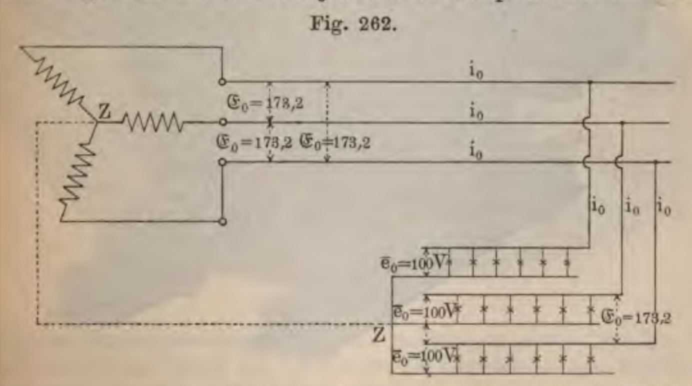
Ist ferner e_0 Volt die in jeder
lengruppe bezw. Phase indu-
te effektive E. M. K., so ist, abge-
en von dem geringen Spannungs-
lust in den Ankerspulen, die
ktive Spannungsdifferenz $\mathfrak{E}_0$
schen zwei der Polklemmen 3, 5 und 1 (Fig. 260), sowie zwischen
i von diesen ausgehenden Leitungen $\mathfrak{E}_0 = e_0 . \sqrt{3}$ Volt. Die Ströme
den Leitungen haben dabei dieselbe Stärke wie die in den Spulen-
ppen bezw. Phasen. Sind alle drei Phasen gleich belastet, und ist
Amp. die effektive Stromstärke in jeder, so ist die Nutzleistung der
hstromdynamo

$$A_n = 3\, e_0\, i_0 = \sqrt{3} . \mathfrak{E}_0 . i_0 \text{ Watt,}$$

n der äußere Stromkreis der Dynamo nur aus induktionsfreien
lerständen, wie Glühlampen u. s. w., gebildet wird.

Werden dagegen die Klemmen 1 und 6, 4 und 5, 2 und 3 paar-
se kurz geschlossen und von jedem Klemmenpaare aus eine Haupt-

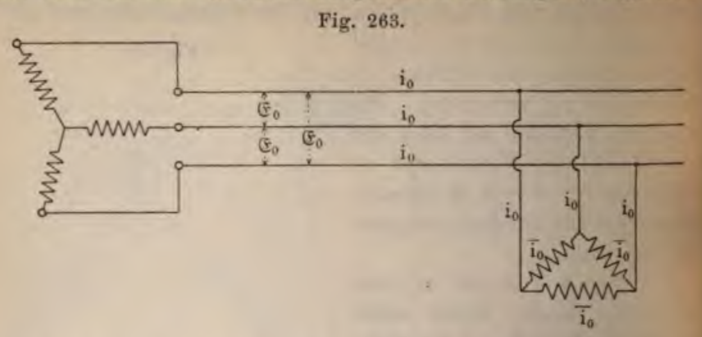
Fig. 262.



ung gezogen, so sind die Spulengruppen (Phasen) des Ankers in
eiecksschaltung verkettet. Ist dann wiederum e_0 Volt die in

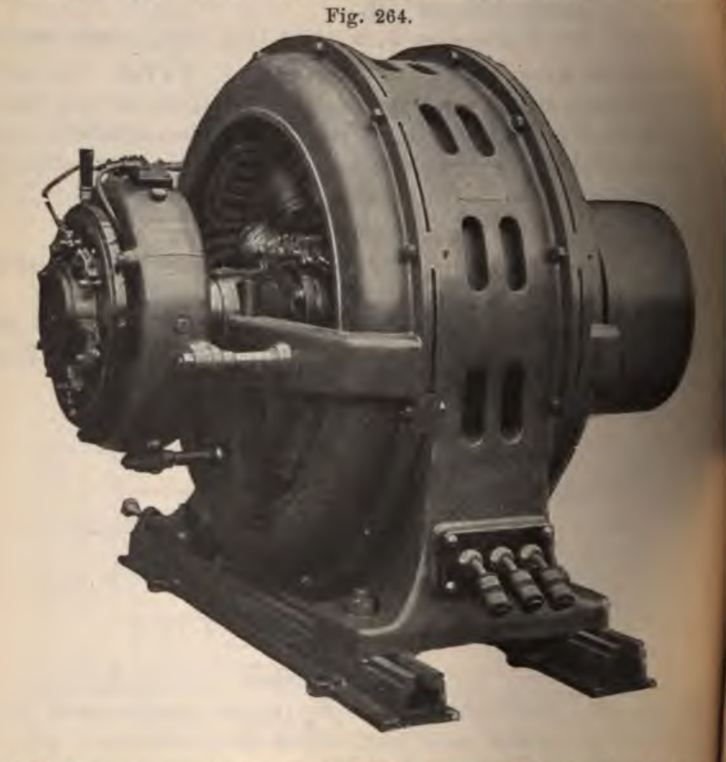
jeder der drei Spulengruppen bezw. Phasen induzierte effektive E.M.K. so zeigt ein Spannungsmesser zwischen je zwei der Klemmenpaar bezw. zwischen den von ihnen ausgehenden Leitungen, abgesehen von

Fig. 263.



dem Spannungsverluste in den Spulen, ebenfalls die effektive Spannung e_0 an (Fig. 261). Ist i_0 Amp. die effektive Stromstärke in jeder der

Fig. 264.



drei Spulengruppen, so ist die effektive Stromstärke in den Leitungen $J_0 = i_0 \cdot \sqrt{3}$ Amp. Liefert die Dynamo Ströme in induktionsfreie

iderstände, und sind alle drei Phasen gleich belastet, so ist die Leiung der Dynamo

$$A_n = 3\, e_0\, i_0 = \sqrt{3}\,.\,e_0\,.\,J_0 \text{ Watt.} \tag{5)}$$

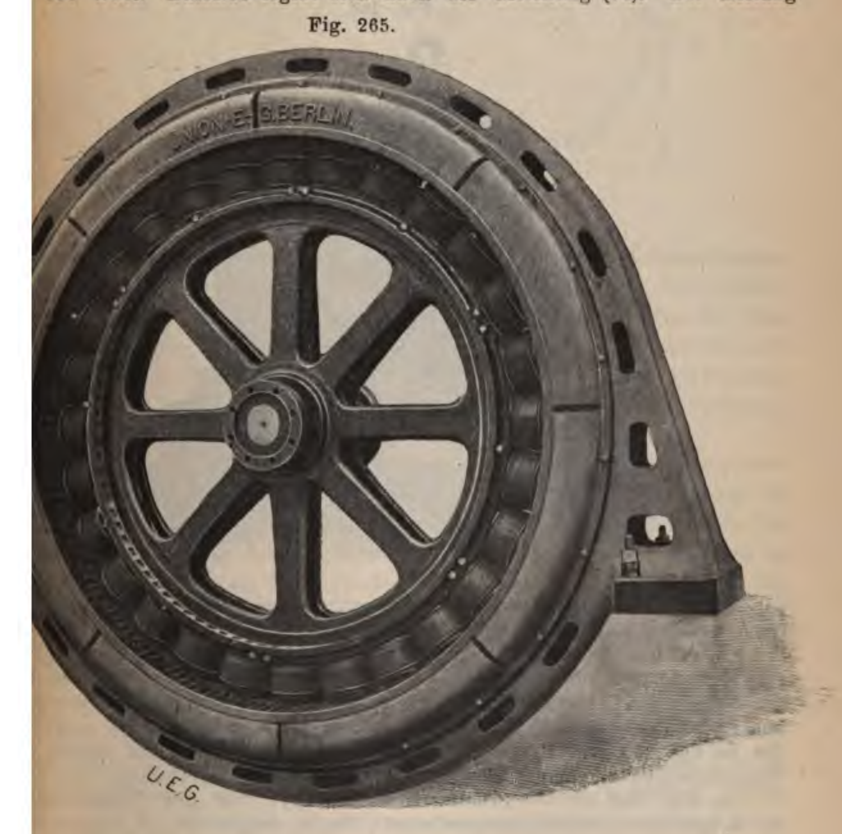
Beispiel. Eine Abzweigung enthalte 18 Glühlampen (16 N.K. 100 Volt d 0,55 Amp.) in Sternschaltung (siehe Fig. 262).

Die effektive Phasenspannung in der Lampenschaltung ist dann

$$\bar{e}_0 = \frac{\mathfrak{E}_0}{\sqrt{3}} = 100 \text{ Volt,}$$

lem die effektive Hauptspannung $\mathfrak{E}_0$ gleich 173,2 Volt ist. Jede der drei mpengruppen verbraucht den Strom $i_0 = 6\,.\,0{,}55 = 3{,}3$ Amp., also die ergie 330 Watt. Der Gesamtverbrauch in der Abzweigung ist 3 . 330 990 Watt. Dasselbe ergibt sich nach der Gleichung (74). Die Leitung

Fig. 265.



Z [siehe Schaltungsschema (§ 134) des Reichspostdampfers „Königin Luise" s Norddeutschen Lloyd] hat den Zweck, bei ungleichmäfsiger Belastung der ei Phasen zum Stromausgleich zu dienen.

Schaltet man an Stelle der drei Glühlampengruppen drei gleiche Widernde mit Selbstinduktion ein, wie Bogenlampen oder die Ständerwickelungen

eines Drehstrommotors, so ist zwischen der Spannungsdifferenz $\overline{e_0}$ und dem Strome i_0 die Phasendifferenz φ vorhanden. In diesem Falle ist der Energieverbrauch in der Abzweigung

$$(76) \qquad A_n = 3\overline{e_0} \,.\, i_0 \,.\, \cos\varphi = \sqrt{3} \,.\, \mathfrak{E}_0 \,.\, i_0 \,.\, \cos\varphi \text{ Watt.}$$

In der Fig. 263 sind drei gleiche Widerstände mit Selbstinduktion [die drei Spulengruppen (Phasen) eines Drehstrommotors] in Dreiecksschaltung von der Hauptleitung abzweigt. Durch jede der drei Phasen des Motors fliefse der Strom $\overline{i_0}$, der in der Phase der Spannung $\mathfrak{E}_0$ um φ nacheilt. Dann ist der Energieverbrauch des Motors

$$A_n = 3\,\mathfrak{E}_0 \,.\, \overline{i_0} \,.\, \cos\varphi = \sqrt{3}\,\mathfrak{E}_0\, i_0 \cos\varphi \text{ Watt.}$$

Fig. 264 stellt eine Drehstromdynamo der Union Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, für Riemenantrieb und mit direkt gekuppelter Erregermaschine

Fig. 266.



dar. Fig. 265 ist ein mit der Betriebsmaschine direkt gekuppelter Drehstrom-Generator, Type ATN, derselben Firma.

Aufser der in Fig. 260 dargestellten Wickelung der Drehstromdynamo gibt es noch zahlreiche andere. Auf die sehr verschiedenen Formen der Wickelung, von denen sich mehrere leicht aus den Wickelungen der Einphasenstrommaschinen (§ 66) ergeben, wollen wir hier nicht näher eingehen. Die in Fig. 264 und 265 dargestellten Drehstromdynamos sind solche der Wechselpoltype mit einer Wickelung, die der in Fig. 259 dargestellten ähnlich ist.

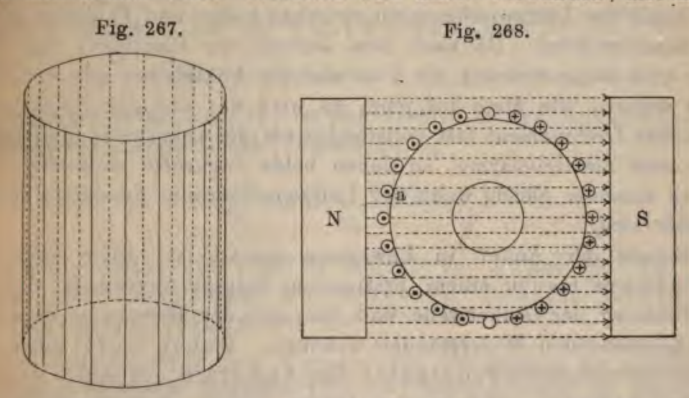
In Fig. 266 ist die Drehstromdynamo Type DM mit Trommelanker der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, dargestellt.

Drehstrommotoren.

§ 71. Wirkung eines magnetischen Drehfeldes auf einen kurzgeschlossenen Anker. Ein permanenter Hufeisenmagnet

n der Achse eines Rotationsapparates so befestigt, dafs die beiden Schenkel vertikal stehen und die Drehungsachse in der Mitte zwischen den Schenkeln liegt. Zwischen den beiden Schenkeln ist ein sogenannter Kurzschlufsanker (Fig. 267) drehbar aufgehängt, der das Aussehen eines Trommelankers mit gleichmäfsig auf der Mantelfläche verteilten isolierten Leitern hat, die an beiden Endflächen durch Kupferringe miteinander durch Vernieten oder Löten verbunden, also kurz-

Fig. 267. Fig. 268.



eschlossen sind. Der Kern des Ankers soll, wie beim Trommelanker, us dünnen Eisenblechscheiben zusammengesetzt sein. Statt dieses Trommelankers kann auch ein Ringanker verwendet werden, bei dem ede Ankerspule in sich kurz geschlossen ist. Man könnte für die ersuche auch den in Fig. 100 dargestellten Ringanker verwenden, enn durch einen über die Kollektorlamellen gelegten Kupferring ämtliche Windungen kurz geschlossen würden.

Sobald mit dem Rotationsapparat der Magnet in Drehung veretzt wird, beginnt der Kurzschlufsanker, in derselben Richtung zu otieren (vergl. § 31). Mit den rotierenden Polen dreht sich auch das Iagnetfeld zwischen denselben; der Kurzschlufsanker befindet sich in inem magnetischen Drehfelde. In Fig. 268 sind *N* und *S* die ole des Magneten, zwischen denen ein gleichförmiges Feld liegt, wenn ir uns für den Versuch die Kurzschlufswickelung auf einem Cylinder us einem unmagnetischen Material herstellen. Die Pole sollen in der ichtung der Bewegung des Uhrzeigers rotieren. Steht der Anker unächst still, so werden die Leiter auf der Oberfläche des Ankers von raftlinien durchschnitten, und in ihnen werden nach der Regel I, S. 55 lektromotorische Kräfte hervorgerufen und Ströme induziert, deren ichtungen in der früher (S. 36) angegebenen Weise bezeichnet sind. ei der Ermittelung der Stromrichtung ist zu beachten, dafs sich die nkerdrähte in Bezug auf das Magnetfeld, entgegen der Drehung des Uhrzeigers bewegen. Bestimmt man dann nach der Rechten-Hand-Regel die Richtung der Kraft, welche vom Magnetfelde z. B. auf den

Stromleiter a ausgeübt wird (vergl. § 19), so ergibt sich, dafs dieselbe am Umfange des Ankers wirkt und dem Anker ein Drehungsmoment in der Richtung der Bewegung des Uhrzeigers erteilt. Dasselbe gilt für die übrigen Ankerleiter. Der Anker beginnt also in der gleichen Richtung zu rotieren, wie die Magnetpole.

Die Wirkungsweise des betrachteten Apparates läfst sich noch dadurch verbessern, dafs die Polflächen cylindrisch ausgebohrt werden, und damit der Luftzwischenraum zwischen Anker und Polfläche erheblich reduziert wird. Da nach dem Gesetze der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung die Pole auf die Ankerleiter mit derselben Kraft wirken, wie diese auf jene, so wird das auf die Magnetwelle ausgeübte Drehmoment fast vollständig auf die Ankerwelle übertragen, denn auch die Hebelarme, an denen beide Zugkräfte angreifen, sind nahezu einander gleich, wenn der Luftzwischenraum genügend schmal gewählt wird.

Sobald der Anker in Bewegung gesetzt ist, wird seine Geschwindigkeit bis zu einem bestimmten Betrage zunehmen, der von der Reibung der Ankerwelle und von den der Bewegung derselben entgegenstehenden Widerständen abhängt. Dabei mufs aber die Umdrehungsgeschwindigkeit des Ankers kleiner als die des Feldes bleiben. Würde der Anker dieselbe Zahl Umdrehungen (synchrone Umdrehungszahl) in der Zeiteinheit machen wie die Pole, so würden die Ankerleiter nicht mehr von den Kraftlinien geschnitten, und die Ursache zur Entstehung der induzierten Ströme in den Ankerleitern wäre damit beseitigt. Diese Ströme sind aber gerade die Ursache der vom Felde auf den Anker ausgeübten Zugkraft. Der Fall gleicher Umdrehungszahl könnte nur bei vollständigem und idealem Leerlauf des Ankers eintreten, wobei alle passiven Widerstände beseitigt wären.

Ist ω_1 die Winkelgeschwindigkeit der beiden Magnetpole, ω_2 die des Ankers, so mufs also $\omega_1 > \omega_2$ sein. Ist D das auf die Magnetpole ausgeübte Drehungsmoment, so ist die zur Bewegung derselben aufgewendete Energie

$$A_1 = D \, . \, \omega_1 .$$

Da nach den früheren Bemerkungen auch auf den Anker das Drehungsmoment D ausgeübt wird, so ist die Leistung des rotierenden Ankers

$$A_2 = D \, . \, \omega_2 .$$

Die Differenz $A_1 - A_2 = D\,(\omega_1 - \omega_2)$ stellt einen Verlust dar, der durch die Unterhaltung der Ströme in der Wickelung des Ankers entsteht. Die Energie $W = A_1 - A_2$ wird in Wärme in den kurz geschlossenen Drähten des Ankers verwandelt. Wir haben

$$A_1 = W + A_2 .$$

A_1 ist die ganze auf den Anker übertragene Energie, von der o der Teil W in der Ankerwickelung verloren geht, während der rige Teil A_2 als mechanische Leistung weitergegeben werden kann. A_2 ist auch die zur Überwindung der Lagerreibung u. s. w. er- derliche Arbeitsleistung enthalten. Wir haben ferner

$$W = D(\omega_1 - \omega_2). \qquad \text{3)}$$

$\omega_1 - \omega_2$ wird als die Schlüpfung und $\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$ als das hlüpfungsverhältnis bezeichnet.

Nach der Gleichung (78) ist der Verlust in der Ankerwickelung Schlüpfung proportional. Ferner ist

$$\frac{W}{A_1} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \varepsilon, \qquad \text{)}$$

h. das Verhältnis des Verlustes im Anker zu der ge- mten auf den Anker übertragenen Energie ist gleich m Schlüpfungsverhältnis ε.

An Stelle des zweipoligen Magneten (Fig. 268) könnten wir auch einen r- oder mehrpoligen Magneten (Fig. 147) rotieren lassen, so würde ein den cylindrischen Raum zwischen den Polschuhen gebrachter Kurzschlufs- ker ebenfalls in Drehung versetzt.

In den einzelnen Leitern auf der Oberfläche des Kurzschlufs- kers oder in den kurz geschlossenen Spulen des vorhin erwähnten gankers entstehen Wechselströme. Die Ströme würden ebenso wie ter den oben betrachteten Verhältnissen entstehen, wenn der Anker llstände, die Pole aber mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega_1 - \omega_2$ ieren würden und zwar in derselben Richtung, wie bei den oben chriebenen Versuchen, d. h. in der Richtung der Bewegung des rzeigers. Auch würden dieselben Ströme entstehen, wenn die Pole t ständen, der Anker aber mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega_1 - \omega_2$ gegen der Richtung der Uhrzeigerbewegung gedreht würde. Aus Figuren 99 u. s. f. ergibt sich sogleich, dafs in jedem Leiter auf Ankeroberfläche Wechselströme entstehen; dabei ist die Zahl der chsel während einer Umdrehung gleich der Zahl der Pole. Ist w Widerstand jedes der Leiter des Kurzschlufsankers oder der Wider- nd jeder der kurz geschlossenen Spulen des Ringankers, so ist die der Bewegung im mehrpoligen Drehfelde induzierte effektive Strom- rke i_0 1. proportional dem Kraftlinienflufs N, der von jedem Nord- in den Anker übertritt, 2. proportional der Schlüpfung $\omega_1 - \omega_2$, proportional der Zahl p der Polpaare, 4. umgekehrt proportional Widerstande w. Bezeichnet also k eine Konstante, so ist

$$i_0 = \frac{k \,.\, N \,.\, p \,.\, (\omega_1 - \omega_2)}{w}. \qquad \text{)}$$

Die Theorie ergibt ferner, daſs das Drehungsmoment D durch die Gleichung

(81) $$D = k.N.Z.i_0.p$$

gegeben ist, wobei Z die Zahl der wirksamen Leiter auf der Oberfläche des Kurzschluſsankers ist.

Nach der Gleichung (81) ist das Drehmoment bei gegebenem Kraftlinienflusse N der im Anker induzierten effektiven Stromstärke i_0 proportional, da diese aber nach der Gleichung (80) wiederum der Schlüpfung proportional ist, so muſs auch das Drehungsmoment der Schlüpfung proportional sein. Wird der Anker stärker belastet, so muſs zur Steigerung des Drehungsmomentes die Schlüpfung zunehmen, damit die in den Ankerleitern induzierte E.M.K. und Stromstärke anwächst.

§ 72. Das Wechselfeld. Das im vorigen Paragraphen betrachtete Drehfeld wird in der Praxis durch die Kombination mehrerer fest stehender Magnetfelder hervorgebracht. Letztere haben jedoch nicht eine konstante Stärke, sondern werden von Wechselströmen hervorgerufen und ändern wie diese periodisch ihre Richtung und Stärke. Felder dieser Art werden kurzweg als Wechselfelder bezeichnet.

Fig. 269.

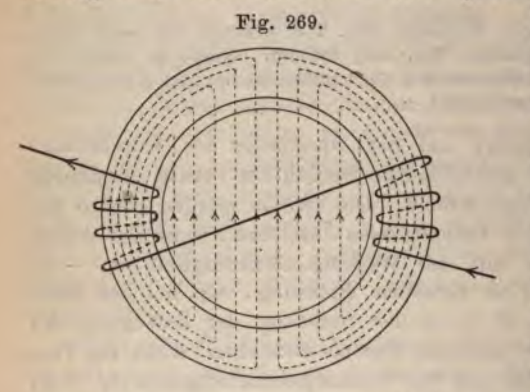


Fig. 269 stellt einen Ring dar, auf welchem zwei in Reihe geschaltete Spulen an zwei gegenüberliegenden Stellen gewickelt sind. Der Ring entspricht dem Ständer oder Gehäuse des Drehstrommotors. Im Innern des Ringes liegt der Läufer oder Anker als Kurzschluſsanker. Der Einfachheit wegen ist zunächst die Ankerwickelung fortgelassen. Flieſst durch die Spulen des Ringes ein Strom, so entsteht im Innern des Ringes ein homogenes Magnetfeld, dessen Kraftlinien den Läufer durchsetzen und sich durch die beiden Ringhälften schlieſsen. Wenn wir annehmen, daſs längs der ganzen Peripherie des Läufers überall gleiche magnetische Kräfte in senkrechter Richtung wirken, d. h. die Dichte der Kraftlinien an allen Stellen der Peripherie des Läufers dieselbe ist, so können wir in einfacher Weise die magnetischen Kräfte darstellen, welche auf die verschiedenen Leiter am Umfange des Ankers wirken. Die von unten nach oben wirkende Feldstärke im Luftzwischenraum sei B. Wir ermitteln in Fig. 270 die Komponente B_φ derselben, die radial am Ankerumfang wirkt, und finden dieselbe

32) $$B_\varphi = B \, . \sin \varphi.$$

Diese Komponente allein ist für die Berechnung des auf den nker ausgeübten Drehungsmomentes zu berücksichtigen (vergl. § 19). ür $\varphi = 0$ und $\varphi = 180$, also für die Punkte des Ankerumfanges, elche der Mitte der Spulen gegenüberliegen, ist $B_\varphi = 0$. Dagegen t für $\varphi = 90$ und $\varphi = 70^0$ die in der Richtung es Radius des Ankers liegende Feldstärke bezw. B nd $-B$.

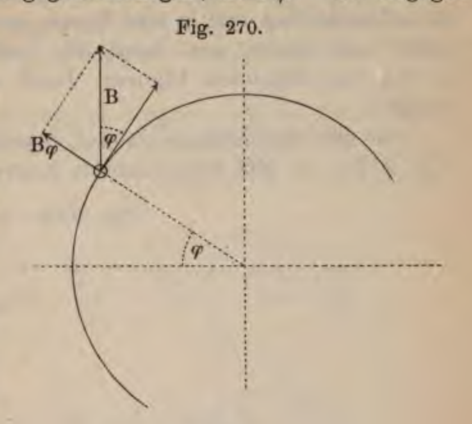


Fig. 270.

Weit häufiger als die n Fig. 269 dargestellte Ringwickelung des Ständers st die in Fig. 271 gezeichete Trommelwickeung. Am inneren Umange des Ständers liegen n Löchern oder Nuten 2×8 Drähte, die auf der orderen und hinteren Seite ntereinander verbunden ind. Die Verbindungen ind durch ausgezogene und unktierte Linien dargetellt. Das von der Spule ervorgebrachte Feld hat asselbe Aussehen wie das n Fig. 269 dargestellte. uch die Gröfse der in er Richtung des Radius irkenden Feldstärke B_φ ndert sich in derselben eise am Umfange des äufers, wie in Fig. 269. ie punktierten Kurven ellen in ähnlicher Weise ie in Fig. 152 die Gröfse r in der Richtung des uferradius wirkenden Feldstärke dar. Zieht man vom Mittelpunkte M ne Gerade $M h_1$ bis zur punktierten Kurve, so gibt das Stück $h h_1$ rselben zwischen Läuferoberfläche und Kurve ein Mafs für die an r betrachteten Stelle h der Läuferoberfläche in der Richtung des dius wirkenden Feldstärke.

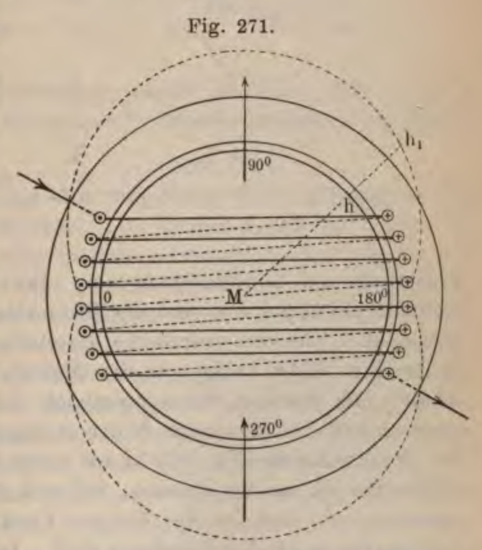


Fig. 271.

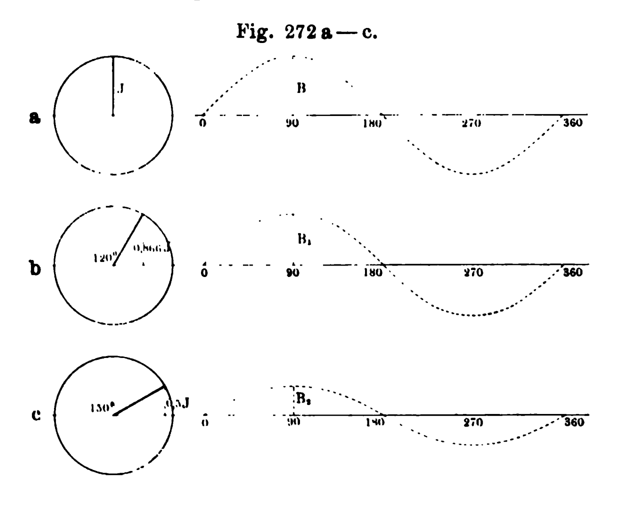
Die punktierten Kurven geben zunächst nur für eine bestimmte romstärke in der Ständerspule die Änderung von B_φ am Umfange

des Läufers. Fliefst durch die Ständerspule ein Wechselstrom, so sind aufser diesen **örtlichen** Änderungen von B_φ auch die **zeitlichen** an jeder Stelle des Läuferumfanges zu berücksichtigen.

Zu dem Zwecke denken wir uns den Luftzwischenraum bei 0, wo die radiale Feldstärke für jede Stärke des Wechselstromes gleich Null ist, aufgeschnitten und in eine Gerade ausgestreckt. Wirkt die Feldstärke vom Läufer aus durch den Luftzwischenraum, so wird sie in den nachfolgenden Figuren durch eine positive Ordinate dargestellt.

Hat der Wechselstrom in der Ständerspule seinen Höchstwert J (Fig. 272 a), so gibt die punktierte Kurve die Änderung der radialen

Fig. 272 a — c.

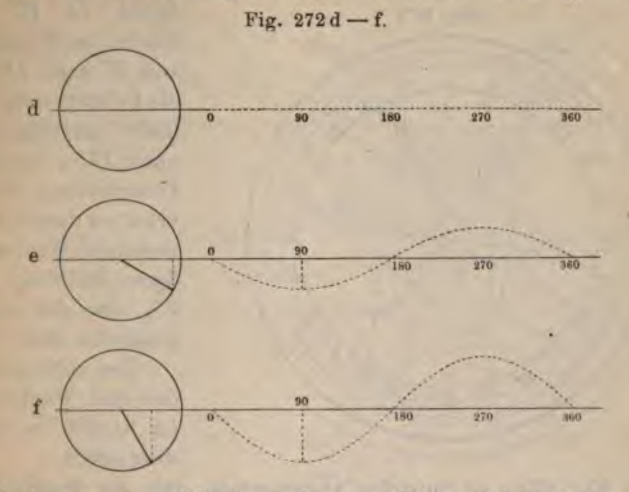


Feldstärke am Läuferumfang an. Die Feldstärke B, wie auch die radiale Feldstärke B_φ, sind der Stromstärke in der Ständerspule proportional. Für die graphische Darstellung der radialen Feldstärke in der Fig. 272 a haben wir den Mafsstab für die Feldstärke so gewählt, dafs dieselbe Strecke zugleich das Maximum J des Wechselstromes und das Maximum B der radialen Feldstärke vorstellt. Sinkt der Wechselstrom (Fig. 272 b) auf 0,866 J, so nimmt auch die radiale Feldstärke B_1 an den Punkten 90° und 270° des Läuferumfanges entsprechend ab, und für die übrigen Punkte ergeben sich die radialen Feldstärken nach der Gleichung (82). In Fig. 272 c ist die Änderung der radialen Feldstärke am Ankerumfang dargestellt, wenn der Wechselstrom gleich 0,5 J geworden ist. Hat der Wechselstrom die augenblickliche Stärke 0 (Fig. 272 d), so sind auch alle radialen Feldstärken am Läuferumfange gleich Null. Die Darstellungen Fig. 272 e und f erklären sich danach leicht. B, B_1, B_2 u. s. w. kann man als die Amplituden der Feldkurve bezeichnen. Jeder augenblicklichen Stärke des Wechselstromes entspricht eine bestimmte Amplitude der Feld-

rve bei 90⁰ und 270⁰, und nach einer Sinuskurve nimmt von beiden llen in allen Fällen die radiale Feldstärke nach den Punkten 0⁰ und 0⁰ sowie 180⁰ und 360⁰ zu ab.

Die Figuren 272 geben zusammen ein Bild von den zeitlichen Ände- ıgen der Feldstärke an jedem Punkte des Läuferumfanges oder des

Fig. 272 d — f.



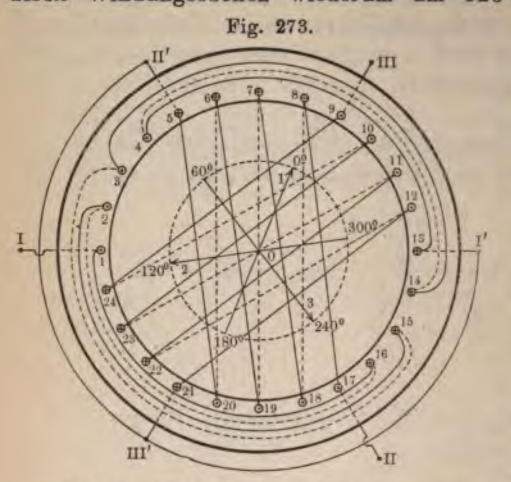
uftzwischenraumes. Die Darstellung ergibt zugleich, dafs an allen tellen des Läuferumfanges die radiale Feldstärke periodisch die Stärke nd Richtung wechselt.

§ 73. Die Vereinigung von mehreren Wechselfeldern zur erstellung eines Drehfeldes. Das Drehfeld entsteht durch die ereinigung von zwei, drei oder mehreren räumlich gegeneinander ver- hobenen Wechselfeldern, welche durch Wechselströme hervorgebracht erden, die gleiche Frequenz und effektive Stärke haben, aber Phasen- fferenzen gegeneinander aufweisen. Der in Deutschland gebräuch- hste Drehstrommotor trägt drei Wickelungen, durch welche drei echselströme fliefsen, deren Phasendifferenz gegeneinander 120⁰ be- ägt. Die für die Drehstrommotoren verwendeten Magnetgestelle haben ine Polansätze, sondern sind aus Eisenblechen mit Papierisolation zu- mmengesetzte Ringe, an deren Innenseiten (Fig. 273, a. f. S.) die strom- hrenden und wirksamen Leiter in fast geschlossenen Nuten eingebettet gen. In allen Fällen werden die Drehstrommotoren vier- und mehr- lig gewickelt, während die Wickelung Fig. 273 nur der Übersicht gen eine zweipolige ist.

Die Spule II' umfafst die Drähte 1 — 16 — 2 — 15 — 3 — 14 4 — 13. Die Verbindungen dieser Drähte sind auf der vorderen d hinteren Stirnfläche geführt. Tritt der Wechselstrom bei I ein, hat das Feld die Richtung 0 1, tritt er jedoch bei I' ein, so hat das ld die entgegengesetzte Richtung.

Die Windungsebenen der Spule *II II'* sind entgegen der Uhrzeigerbewegung um 120⁰ gegen die Spule *I I'* gedreht. Der Übersicht wegen sind die Verbindungen der wirksamen Leiter der Spule *II II'* nicht an den Stirnflächen gezogen, ebenso auch nicht bei der Spule *III III'*, deren Windungsebenen wiederum um 120⁰ geneigt gegen die der Spule *II II'* liegen. Fliefst der Wechselstrom von *II* nach *II'*, so ist die Feldrichtung 0 2, und fliefst derselbe von *III* nach *III'*, so ist die Feldrichtung 0 3. Wir erhalten damit drei feststehende Wechselfelder, deren Richtung 0 1, 0 2, 0 3 oder die entgegengesetzten sind.

Fig. 273.



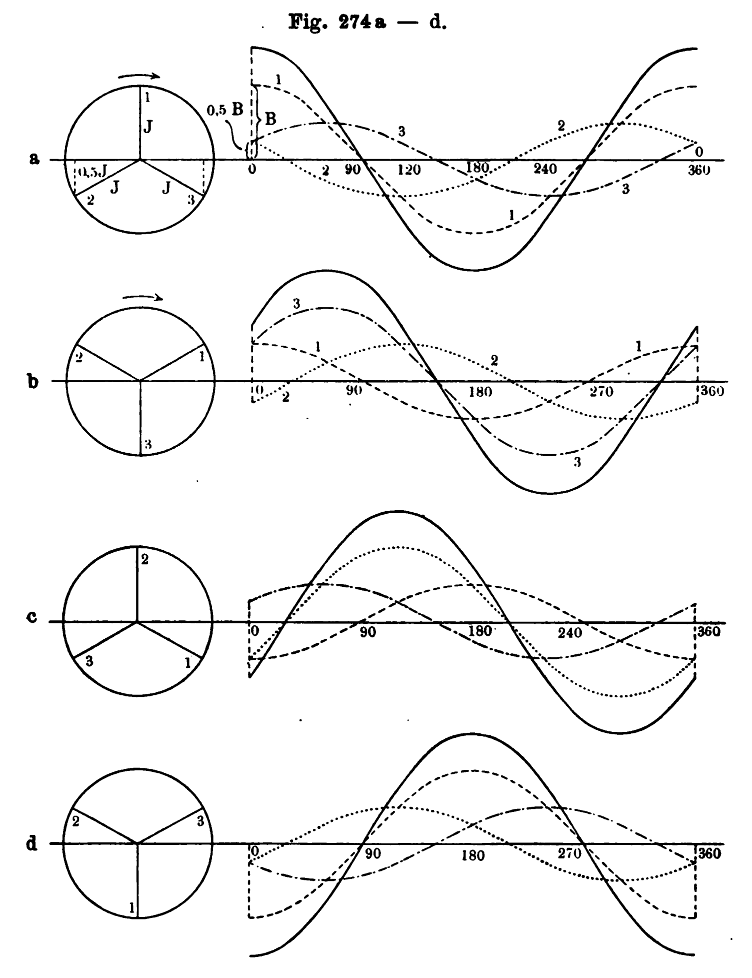
Der zeitliche Verlauf der drei Wechselströme ist bereits in Fig. 251 dargestellt.

In Fig. 274a ist zunächst angenommen, dafs der Wechselstrom 1 in *I I'* seinen Höchstwert *J* hat, und das Feld hat demgemäfs seine gröfste Stärke. Bei 0⁰ und 180⁰ also ist das von der Spule *I I'* herrührende Feld am Ankerumfang am stärksten. Die Kurve 1 gibt die Gröfse der radialen Feldstärke am Ankerumfang an, soweit dieselbe von der Spule *I I'* herrührt. Da die Ordinate von 2 unterhalb der horizontalen Achse liegt, so tritt der Wechselstrom 2 bei *II'* ein, und bei 300⁰ bezw. 120⁰ liegen die Höchstwerte des zugehörigen Feldes. Die von den Wechselströmen 2 und 3 hervorgerufenen Höchstwerte der Feldstärke oder Amplituden der Feldkurve sind, den Phasen der Ströme entsprechend, nur halb so grofs wie die Amplitude der Feldkurve 1, da auch die in Fig. 274a dargestellten Stärken der Ströme 2 und 3 nur halb so grofs sind wie die des Wechselstromes 1. Die drei Kurven 1, 2 und 3 geben also die radialen Feldstärken am Läuferumfange an, die bezw. von den Spulen *I I'*, *II II'* und *III III'* herrühren. Addiert man für jeden Punkt die Ordinaten der drei Kurven, so ergibt sich die Stärke des resultierenden Feldes, die durch die ausgezogene Kurve dargestellt wird. Der Höchstwert des resultierenden Feldes fällt örtlich mit demjenigen Wechselfelde zusammen, das gerade in dem betrachteten Augenblicke seinen gröfsten Wert hat. Ist ferner *B* der Höchstwert des letztere[n], so ist nach Fig. 276a und den folgenden der Höchstw[ert] des Drehfeldes $= 3/2 . B$.

Fig. 274b stellt den Augenblick dar, in welchem der Wechse[l]

:om 3 seinen Höchstwert hat und der Strom 3 bei III' eintritt. Die romzustände Fig. 274 b treten $^1/_6$ Periode später ein als die in .g. 274 a dargestellten. Das Maximum des resultierenden Feldes liegt ınmehr bei 60°. Aus den übrigen Figuren ergibt sich, dafs das

Fig. 274 a — d.



.aximum des resultierenden Feldes längs des Läuferumfanges fort-hreitet, wir erhalten also als Resultierende der drei feststehenden echselfelder ein Drehfeld, das in jeder Periode des Wechselstromes ne Umdrehung macht.

Schon vorher ist hervorgehoben, dafs die Drehfeldmotoren meist er- und mehrpolig konstruiert werden. Für diese ergibt sich die ehäusewickelung einfach aus der Fig. 273. Bei der Wickelung Fig. 273 wird durch die Vereinigung der drei Wechselfelder ein

Polpaar im Gehäuse hervorgebracht, das in Umlauf begriffen wie die Pole in Fig. 268. Nimmt jede der Spulen nur ein Vierte Ständerumfanges ein und gehören demnach zu jedem der drei Wec ströme vier Spulen, so hat das resultierende Drehfeld zwei Polp die um 90° verschoben gegeneinander am Gehäuseumfange liegen. Wickelung des Gehäuses würde dann genau der in Fig. 258 und dargestellten entsprechen. Daraus ergibt sich dann leicht die W lung der Ständer oder Gehäuse mehrpoliger Drehstrommotoren.

§ 74. Asynchrone Drehstrommotoren. Bei diesen Mot deren Ständerwickelung im vorigen Paragraphen besprochen ist, im einfachsten Falle als Läufer ein Kurzschlufsanker verwendet.

In Fig. 275 ist ein Drehstrommotor der Deutschen Elektrizitäts in Aachen, Modell D, mit Kurzschlufsanker auf Spannschlitten darge In der nachfolgenden Tabelle sind Angaben über Leistung, Tourenzahl u enthalten.

Modell	Leistung in P.S. ca.	Umdrehungen pro Minute bei 50 Period. ca.	Ausgeführt für Spannungen in Volt ca.	Stromstärke in jeder Leitung bei 110 Volt in Amp. ca.	Erforderliche Energie in Watt ca.	Nutzeffekt in Proz. ca.	Leistungs- c
D 1	1/8	1320	110	1,6	185	50	0,
D 2	1/4	1350	110	2,5	310	60	0,
D 5	1/2	1380	110 / 220	4	540	68	0,
D 10	1	1400	110 / 220	6,5	1000	75	0,
D 20	2	1400	110 / 220	12	1870	79	0,
D 20a	2	920	110 / 220	12	1900	78	0,
D 30	3	1400	110 / 220	17	2700	80	0,
D 30a	3	920	110 / 220	17	2750	80	0,
D 50	5	1420	110 / 220 / 500	27	4500	82	0,
D 50a	5	930	110 / 220 / 500	28	4600	81	0,

Da der Läufer in seiner Tourenzahl hinter dem Drehfelde zur bleiben mufs (vergl. § 71), so gehört der Motor dieser Art zu a s y n c h r o n e n M o t o r e n, bei denen das Drehungsmoment durch in der Läuferwickelung induzierten Ströme entsteht (I n d u k t i o m o t o r e n).

Induktionsmotoren können auch für einphasigen Wechselstrom istruiert werden. Wir wollen uns hier jedoch nur auf die Be-reibung der Induktions-toren für Dreiphasen-om beschränken.



Fig. 275.

Bringt man an die lle des Kurzschlufsankers en durch Gleichstrom er-ten Elektromagneten in Drehfeld, so ergibt sich vollständige Umkehrung Drehstrommaschine (Fig.), und wir erhalten einen ichronen Drehstrom-tor. Bei diesem bewegt der rotierende Magnet gleicher Geschwindigkeit das Drehfeld. Bei den toren dieser Art ist eine ondere Erregung des Mag-en durch Gleichstrom er-lerlich, die bei dem asynchronen Motor fortfällt. Der synchrone Motor ft nicht von selbst an, sondern er mufs durch eine Hülfsmaschine erst die Geschwindigkeit des Drehfeldes gebracht werden. Wird der Motor rlastet, so fällt er aus „dem Tritt" und bleibt stehen. Innerhalb der nzen der Belastung bleibt die Tourenzahl für alle Belastungen konstant.

1. Betriebsbedingungen der asynchronen Drehstrom-toren. Vom Generator aus werden durch die mit elektrischer ergie zu versorgenden Räume drei Leitungen gezogen. Wie bei n Betriebe mit konstanter Spannung (vergl. S. 90) werden hier o drei Hauptleitungen verlegt, von denen nach Bedarf Nebenleitungen die Motoren abgezweigt werden.

Die Dynamo (Generator) wird so reguliert, dafs an allen Stellen ischen je zwei der Hauptleitungen bezw. deren Abzweigungen die-be effektive Spannungsdifferenz vorhanden ist. Um auch eine kon-nte Rotationsgeschwindigkeit der Drehfelder in den Motoren zu ben, wird die Periodenzahl der Wechselströme durch sorgfältige gulierung der Tourenzahl der Dynamos bezw. deren Antriebs-schinen konstant gehalten. Die hauptsächlichen Bedingungen des triebes der Drehstrommotoren sind also a) konstante Spannungs-erenz zwischen je zwei der drei Hauptleitungen, b) konstante riodenzahl der Wechselströme.

2. Aufbau der asynchronen Drehstrommotoren. Das häuse oder der Ständer (Stator) des Drehstrommotors ist bereits § 73 beschrieben. Dem Gehäuse werden die drei Wechselströme rch drei feststehende Polklemmen zugeführt. Während bei den ichstrommotoren der Kollektor zur Stromzuführung nach dem Anker

dient, kommt dieser empfindliche Teil der Maschine beim Drehstrommotor in Fortfall.

Der Läufer wird als Cylinder aus Eisenblechscheiben wie der Ankerkern bei den Gleichstrommaschinen hergestellt. Der Ständer oder das Gehäuse besteht ebenfalls aus Eisenblechscheiben und umgibt als Hohlcylinder den Läufer. Am Umfange des Ankers, sowie am inneren Umfange des Ständers liegen die Drähte in Nuten oder in Löcher eingebettet.

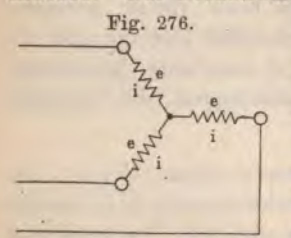
Der Anker der Drehstrommotoren kann sein

a) ein Kurzschlufsanker, dessen Einrichtung bereits in § 71 besprochen ist. Kurzschlufsanker werden aus nachher zu erörternden Gründen nur für Motoren mit geringen Leistungen benutzt. Die Zahl der am Ankerumfang eingelegten Stäbe kann beliebig sein und ist von der Zahl der Pole des Ständers unabhängig (Käfigläufer von Dobrowolski). Bei einer anderen, jedoch weniger vorteilhaften Ausführung schliefst man gewisse symmetrisch gelegene Kupferstäbe kurz in solcher Weise, dafs auch in der Bewickelung des Läufers sich drei Phasen ergeben;

b) ein Schleifring- oder Phasenanker. Die Wickelung des Ankers oder Läufers ist nach denselben Grundsätzen ausgeführt, wie die des Ständers. Dabei sind die drei Spulengruppen (Phasen) des Ankers meistens in Sternschaltung verbunden, während die drei freien Enden der Phasen an drei auf der Welle des Motors befestigte Schleifringe gelegt sind. Wir haben hier auf dem Läufer eine offene Wickelung. Motoren für Leistungen über 7 P.S. schon werden von vielen Firmen mit Schleifringankern ausgerüstet. An die drei Schleifringe sind während des Anlassens drei Widerstände angeschlossen, in welche die im Läufer bei der Bewegung im Drehfelde induzierten Ströme fliefsen. Die drei Widerstände sind ebenfalls in Sternschaltung verbunden. Nach dem Anlassen des Motors werden die drei Schleifringe bezw. die drei Bürsten kurz geschlossen. Motoren mit Schleifringen eignen sich auch für eine stetige und allmähliche Regulierung der Tourenzahl.

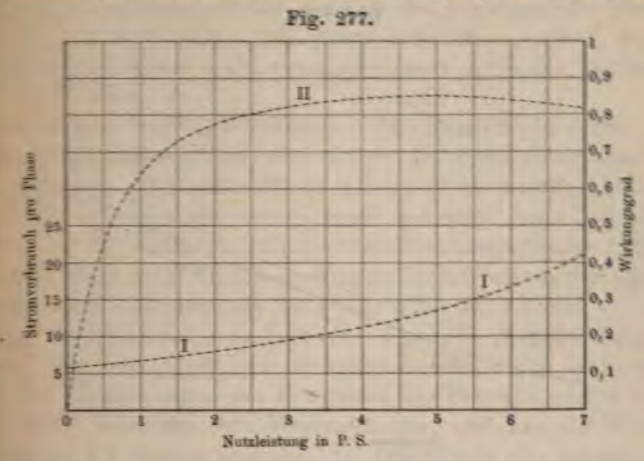
§ 75. Betriebsverhältnisse des asynchronen Drehstrommotors. Der Drehstrommotor mit Kurzschlufsanker verbraucht beim Leerlauf einen Strom, dessen Stärke etwa $^1/_2$ bis $^1/_3$ der normalen Betriebsstromstärke beträgt. Dieser hohe Leerlaufsstrom, der bei dem auf S. 103 behandelten Nebenschlufsmotor nur etwa 5 Proz. des normalen Betriebsstromes ausmacht, ist ein Nachteil der Drehstrommotoren. Die Kurve I (Fig. 277) stellt den Stromverbrauch eines 5 P.S.-Motors der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, pro Phase dar und zeigt, dafs beim Leerlauf etwa 6 Ampère pro Phase ver-

Fig. 276.



…cht werden, während bei der normalen Belastung von 5 P. S. die …stärke in jeder Phase 14 Amp. beträgt. Dabei sei jedoch gleich …f hingewiesen, daſs bei den modernen Motoren der Energiever…ch beim Leerlauf infolge der groſsen Phasendifferenz zwischen der …enspannung und der Stromstärke nur etwa 5 bis 10 Proz. der …alen Leistung ausmacht. Ist also e die Spannung in jeder der Phasen des Motors bei Sternschaltung (Fig. 276) und i die Strom…e in derselben, so ist die Phasendifferenz φ zwischen beiden so groſs, … der Energieverbrauch [siehe Gleichung (63)] nur gering ausfällt.

Fig. 277.

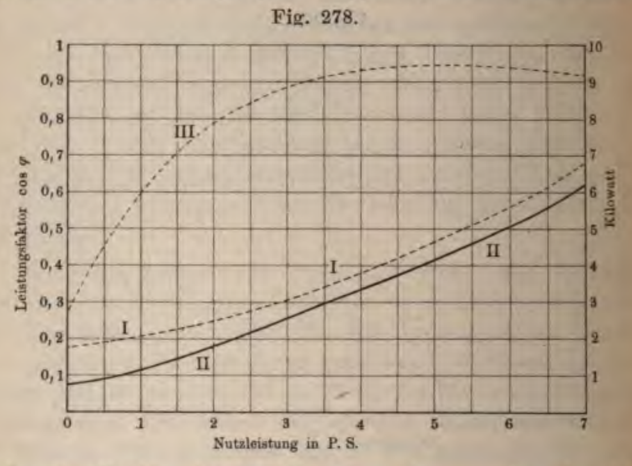


Bezüglich des Wirkungsgrades liegen beim Drehstrommotor die …ältnisse ganz ebenso wie beim Gleichstrommotor. Ein richtig …ruierter Drehstrommotor hat seinen höchsten Wirkungsgrad bei …ormalen Leistung (siehe Fig. 161); auch bei ihm ändert sich der …ungsgrad nur unmerklich, wenn die Belastung zwischen $^3/_4$ und $^5/_4$ …ormalen schwankt. In Fig. 277 stellt die Kurve II den Wirkungs…des genannten 5 P. S.-Drehstrommotors für Belastungen bis 7 P. S. … Die Kurve I in Fig. 278 gibt den **scheinbaren Energie…rauch** dieses Motors, während die Kurve II den **wirklichen** …**rgieverbrauch** für Belastungen vom Leerlauf bis 7 P. S. dar… Die Differenz zwischen beiden fällt um so kleiner aus, je mehr die …tung der normalen Belastung sich nähert. Der **Leistungsfaktor** … ist die Zahl, mit welcher der scheinbare Energieverbrauch zu …plizieren ist, um den wirklichen zu erhalten. Die Kurve III … 278) stellt den Betrag des Leistungsfaktors für verschiedene Be…ngen dar. Beim Leerlauf ist φ besonders groſs und daher $\cos\varphi$ … 0,28. Für den in Fig. 278 dargestellten speziellen Fall eines ….-Motors zeigt sich, daſs bei einer Abnahme der Belastung noch … 2 P. S., d. h. unter 40 Proz. der normalen, der Leistungsfaktor …ll abnimmt. Für kleine Belastungen, die also weniger als 40 Proz.

der normalen ausmachen, arbeiten die Drehstrommotoren demnac sehr ungünstig. Ganz dieselben Verhältnisse liegen auch bei de mechanischen Motoren vor.

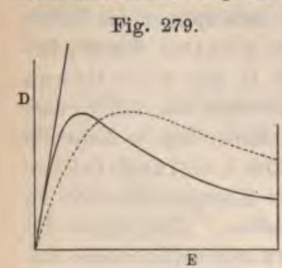
Nach der Gleichung 81 ist das Drehungsmoment der effektive Stromstärke i_0 in den Leitern des Kurzschlufsankers proportional un daher auch nach der Gleichung 80 der Schlüpfung bezw. dem Schlüpfung verhältnis ε. Wird der leer laufende Motor belastet, so mufs d Schlüpfung $\omega_1 - \omega_2$ proportional der zu entwickelnden Zugkraft zu nehmen, damit zur Erzeugung einer gröfseren effektiven Stromstärk

Fig. 278.



im Läufer die Drähte des letzteren von einer grofsen Anzahl Kra linien geschnitten werden. Die Geschwindigkeit des Drehfeldes i dabei als unveränderlich vorausgesetzt. Da bei dem mit ko stanter Spannung betriebenen Drehstrommotor die Stärk des Drehfeldes unter allen Verhältnissen konstant bleibt, mufs nach einer Vergröfserung der Belastung zur Erhöhung des Drehung momentes die effektive Stärke i_0 in d Leitern des Ankers (Läufers) zunehmen. D zu entwickelnde Zugkraft müfste demna mit der Schlüpfung wachsen, bis der Mot still steht. Die Erfahrung zeigt jedoc dafs dieses nicht der Fall ist und zw wegen der magnetischen Streuung, die dar besteht, dafs nicht alle von der primär Wickelung des Ständers erzeugten Kraftlini in den Läufer treten, sondern um die im Eis eingebetteten Drähte im Gehäuse und Luftzwischenraum sich schliefse und also nicht zur Erhöhung der Zugkraft bezw. des Drehung momentes beitragen. Für geringe Werte des Schlüpfungsverhältniss nimmt das Drehungsmoment annähernd in gleichem Verhältnisse z

Fig. 279.



ge bevor aber das Schlüpfungsverhältnis ε (Fig. 279) den Wert 1 eicht, d. h. der Kurzschlufsanker still steht ($\omega_2 = 0$), erreicht die gkraft bezw. das Drehungsmoment einen Grenzwert, der nicht überritten wird. Würde über diesen Betrag hinaus der Motor belastet, fiele er aus dem Tritt und bliebe plötzlich stehen. In Fig. 279 gt die ausgezogene Kurve, in welcher Weise sich das Drehungsment D mit dem Schlüpfungsverhältnis ε ändert; D wächst zunächst gleichmäfsig mit ε an, erreicht dann den höchsten Wert und nimmt hher mit wachsendem ε wiederum ab. Am Anfange der Kurve ist e Tangente gezogen, deren Anstieg die Zunahme des Drehungsmentes mit wachsender Schlüpfung darstellen würde, wenn die gnetische Streuung im Luftzwischenraum zwischen Ständer und ıfer nicht wäre.

Die höchste zulässige Belastung der Drehstrommotoren ist wie den Gleichstrommotoren auch durch die Erwärmung der Wickegen gegeben. Bei guten Motoren liegt die mit Rücksicht auf die värmung zulässige Belastungsgrenze erheblich unterhalb der Beung, die der höchsten Ordinate der Drehmomentkurve (Fig. 279) spricht, damit nicht bei einer geringen Überschreitung der zulässigen astung der Motor aus dem Tritt fällt und stehen bleibt.

Die Tourenzahl des Läufers und die Regulierung derben. Die Tourenzahl des Drehstrommotors ergibt sich aus der ahl der Umdrehungen des Drehfeldes pro Sekunde. Ist n die Zahl Perioden jedes der drei Wechselströme, und hat die Wickelung Ständers p Polpaare, so macht das Drehfeld in der Sekunde

$$n_1 = \frac{n}{p} \text{ Umdrehungen.}$$

r haben bereits früher hervorgehoben, weshalb der Läufer die nchrone Umlaufszahl" n_1 nicht annehmen kann. Die Tourenzahl Läufers weicht jedoch wenig ab von n_1; sie nimmt vom Leerlauf zur vollen Belastung um etwa 5 Proz. ab. Beim Leerlauf ist Schlüpfungsverhältnis ε sehr klein, etwa 0,01. Mit wachsender astung nimmt ε zu und wird also bei normaler Belastung im Mittel a 0,05.

Da n durch die Umdrehungszahl des Drehstromgenerators gegeben der die drei Wechselströme für den Drehstrommotor liefert, so kann Tourenzahl des Motors durch die des Generators reguliert werden. l die Spannung zwischen den Hauptleitungen konstant bleiben, was den Betrieb weiterer Motoren und etwa an das Netz angeschlossener hlampen erforderlich ist, so kann die Tourenzahl des Generators so weit erniedrigt werden, wie die Steigerung der Stromstärke den Magnetspulen des Generators es zuläfst. Immerhin kann diese hode der Regulierung nur in einzelnen Fällen Anwendung finden, gröfsere Leitungsnetze mit Licht- und Kraftbetrieb ist sie meist geschlossen.

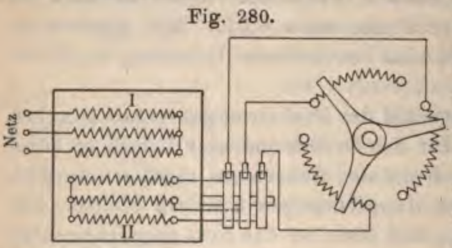
Die Tourenzahl kann langsam dadurch geändert werden, daſs man regulierbare Widerstände in den Ankerwindungen hinzuschaltet. Wird der Widerstand jeder Ankerwindung verdoppelt, so wird auch für eine bestimmte Zugkraft die Schlüpfung verdoppelt. Soll der Motor mit einer bestimmten Zugkraft eine gewisse Belastung überwinden, und wird plötzlich der Widerstand der Läuferwickelung verdoppelt, so muſs sich auch die Schlüpfung verdoppeln, damit dieselbe Zugkraft auch weiterhin ausgeübt werden kann. Der Motor läuft sich also von selbst auf die doppelte Schlüpfung ein. In Fig. 279 gibt die punktierte Kurve die Änderung des Drehungsmomentes mit der Schlüpfung an, wenn der Widerstand des Läufers auf den doppelten Betrag erhöht wird. Dabei ergibt sich, daſs, wenn der Anker mit einfachem Spulenwiderstand und der Anker mit doppeltem Spulenwiderstand dasselbe Drehungsmoment D ausüben würden, die Schlüpfung des ersten gerade halb so groſs ist wie die des zweiten. Diese Methode der Regulierung, welche in ähnlicher Weise wirkt wie die Regulierung der Tourenzahl von Gleichstrommotoren durch dem Anker vorgeschaltete Widerstände (vergl. S. 112), hat jedoch die folgenden Nachteile:

1. Durch diese Methode kann die Tourenzahl nur unterhalb der normalen erniedrigt werden, nicht aber über diese hinaus erhöht werden.

2. Durch den doppelten Ankerwiderstand wird der Energieverlust $i^2 . w$ im Anker ebenfalls verdoppelt. Der Wirkungsgrad nimmt daher in demselben Maſse ab wie die Tourenzahl. Auſserdem sind die Schwankungen der Tourenzahl bei Änderungen der Belastung proportional dem Widerstande der Ankerspulen. Je höher dieser also gewählt wird, desto mehr schwankt die Tourenzahl bei Belastungsänderungen.

Das Hinzufügen von Widerstand an jeder der Ankerspulen würde praktisch groſse Schwierigkeiten machen. Man führt daher diese Methode der Regulierung derart aus, daſs man den Anker als Schleifringanker konstruiert. Die drei Phasen desselben sind im Gehäuse in Sternschaltung verbunden, und an die drei Schleifringe sind drei Widerstände gelegt, die ebenfalls durch eine dreiarmige Kurbel in Sternschaltung verbunden sind (Fig. 280 und 283) (Regulier-Schleifringanker). I ist die primäre Wickelung des Gehäuses, welche durch drei Leitungen an das Netz angeschlossen wird.

Fig. 280.



Anlauf- und Anlaſsvorrichtungen. Schlieſst man die [Ge]häusewickelung eines Drehstrommotors mit Kurzschluſsanker di[rekt] an das Netz konstanter Spannung an, so befindet sich der ruh[ende]

Anker plötzlich in einem Drehfelde, durch welches in ihm starke Ströme induziert werden. Während im normalen Betriebe die Schlüpfung etwa 5 Proz. beträgt, würde diese im Momente des Einschaltens 100 Proz. sein, und demgemäfs würden im Anker auch sehr viel stärkere Ströme beim Anlaufen induziert als während des normalen Betriebes. Die Untersuchung ergibt, dafs infolge dieses hohen Anker-

Fig. 281.



stromes auch die Stärke des Stromes in der Gehäusewickelung beträchtlich ansteigt; beide Ströme zusammen bringen das magnetische Drehfeld hervor, dessen Stärke, wie schon vorher bemerkt ist, so lange unter allen Umständen konstant bleibt, wie die Betriebsspannung bezw. Polklemmenspannung einen unveränderlichen Wert hat.

Während demnach unter Berücksichtigung der Schlüpfung der Strom im Anker beim Anlauf etwa 20mal so grofs sein mufs als beim normalen Betriebe, so ist in Wirklichkeit infolge der magnetischen Streuung die eigentliche Anlaufsstromstärke oder die Stromstärke in der Gehäusewickelung des Kurzschlufsankers etwa 3- bis 4mal so grofs wie die normale Betriebsstromstärke. Aus diesem Grunde kann jeder Drehstrommotor mit Kurzschlufsanker auch voll belastet direkt ohne weitere Umstände an das Netz angeschlossen werden, besonders dann, wenn bei Dauerbetrieb das Einschalten nur weniger häufig erfolgt, und damit nur selten die beim Anlauf entwickelte Wärmemenge in der Wickelung erzeugt wird. Der asynchrone Drehstrommotor läuft von selbst an. Man erhält beim Anlauf eine Anzugskraft, die gleich der normalen Zugkraft ist, wenn der Stromverbrauch beim Anlauf etwa das Dreifache bis Vierfache der normalen Stromstärke ist. Durch den starken Stromverbrauch beim Anlauf der Motoren mit Kurzschlufsanker wächst in der Leitung der Spannungsverlust erheblich an, aufserdem wird durch die momentane Vergröfserung der Stromstärke auf den Generator eine Rückwirkung ausgeübt, welche zu unliebsamen Spannungsschwankungen Veranlassung gibt. Motoren mit Kurzschlufsanker werden daher häufig nur in solchen Fällen angewendet, wo der Motor mit geringer Belastung angeht. Gröfsere Drehstrommotoren erhalten statt des Kurz-

schlufsankers einen Schleifringanker. Drehstrommotoren unter
erhalten fast überall Anker mit Kurzschlufswickelung und
meistens direkt eingeschaltet werden, wie der in Fig. 281 dar
Drehstrommotor mit Kurzschlufsanker der Allgemeinen Elekt
gesellschaft, Berlin. Bis zu welcher Leistung dies überhau
lich ist, richtet sich nach der Gröfse der Anlage bezw. der I
der Generatoren; für Drehstromcentralen bestehen meist Bestim
über die Gröfse der Motoren mit Kurzschlufsanker, die direkt
Netz angeschlossen werden dürfen.

Anlafsvorrichtung für Motoren mit Kurzschlufsanke
bei werden in den drei Zuleitungen zum Motor regulierbare Wide
die den sogenan
lafswidersta
sammen bilden
schaltet (Fig. 2
durch diese
stände währe
Anlaufens ein
Netzspannung
braucht wird, di
menspannung d
tors also ver
wird, so wird
während des An
die Stärke des Drehfeldes und damit auch die Gröfse der Zugkraft
gedrückt. Hierbei sei nochmals hervorgehoben, dafs die Stärke des
feldes allein durch die Polklemmenspannung bezw. Betriebsspannung be
ist, und solange letztere konstant bleibt, behält auch die Stärke des
feldes einen unveränderlichen Wert. Bei dieser Methode des Anlassen
also der Motor mit schwachem Drehfelde und starkem Strome in der L
wickelung an. Durch den der Ständerwickelung I vorgeschalteten Wide

Fig. 282.

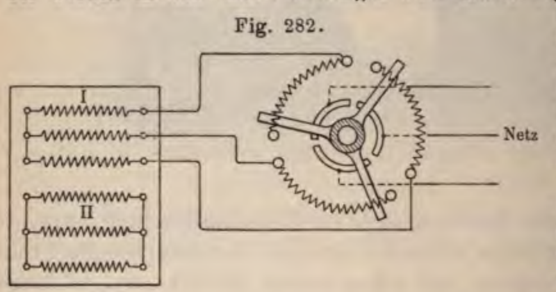


Fig. 282 a.



wird nur erreicht, dafs der Stromstofs in Rücksicht auf das Leitungsne
den Generator abgeschwächt wird. Für den Betrieb, insbesondere fü
Anlauf des Motors, ist ein solcher Widerstand nur unvorteilhaft. D
Fig. 282 dargestellte Methode des Anlassens empfiehlt sich nur, wen
Motor unbelastet anlaufen soll. Fig. 282 a stellt einen Motor mit Kurzsc
anker der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, nebst Anlafsw
stand in den Zuleitungen zur Ständerwickelung dar.

Die Motoren mit Schleifringanker werden beim Anlauf mit einem Anlaſswiderstand nach Fig. 283 verbunden. Die Ständerwickelung wird dabei durch einen dreipoligen Ausschalter direkt an das Netz angeschlossen. Die in Sternschaltung verbundenen drei Phasen des Läufers sind an die drei Schleifringe angeschlossen (vergl. Fig. 280). Durch die dem Läufer zugeschalteten Widerstände, die im Anlasser gleichfalls in Sternschaltung verbunden sind, kann man die Stromstärke während des Anlaufes regulieren. Motoren mit Schleifringanker laufen daher mit starkem Felde und mit schwachem Strome in der Läuferwickelung an. Damit das Anzugsmoment beim Anlaufe gleich dem des normalen Betriebes ist, braucht die Anlaufstromstärke nur gleich der normalen Betriebsstromstärke zu sein. Um die Anzugskraft zu verdoppeln, ist auch die doppelte Stromstärke in der Ständerwickelung beim Anlassen nötig. Der mit Schleifringanker versehene Drehstrommotor verhält sich also bezüglich des Stromverbrauches und der Zugkraft beim Anlassen wie der Gleichstrommotor mit Nebenschluſswickelung. Während des Anlassens werden die an die Schleifringe geschlossenen Widerstände allmählich ausgeschaltet, so daſs schlieſslich die Bürsten kurz geschlossen sind.

Fig. 283.

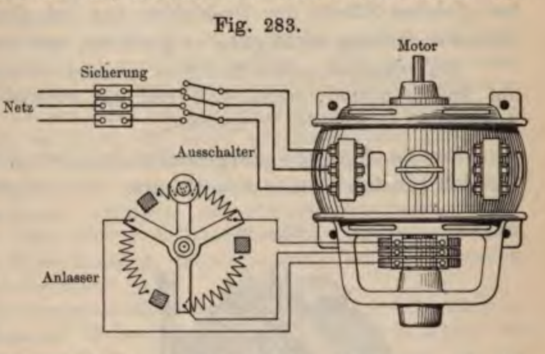


Fig. 283a.



Fig. 283a stellt einen Drehstrommotor mit Schleifringanker und Anlasser der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, dar.

Bei den Motoren mit Schleifringanker kann die Tourenzahl durch den Anlaſswiderstand verändert werden. Wird der vorgeschaltete Widerstand vermehrt, so sinkt die Tourenzahl (vergl. S. 208). Der Drehstrommotor verhält sich dabei wie ein Nebenschluſsmotor, dessen

Tourenzahl durch Widerstände herabgedrückt wird, die der Ankerwickelung vorgeschaltet werden.

Die Motoren mit Schleifringanker und Kurzschliefser werden wie die Motoren mit Schleifringanker angelassen. Nachdem die normale Tourenzahl erreicht ist, werden die Läuferwindungen durch eine einfache Hebelvorrichtung kurz geschlossen. Dabei werden gleichzeitig die Bürsten durch diese Hebelvorrichtung von den Schleifringen abgehoben. Der Motor arbeitet dann im Betriebe bezüglich der Tourenzahl mit allen Vorteilen der Motoren mit Kurzschlufsanker, während für das Anlassen die Vorteile des Schleifringankers zur Geltung kommen. Wir weisen noch darauf hin, dafs das Drehmoment des Phasenankers bei gleicher Stärke des Drehfeldes und bei gleicher Stromstärke in der Läuferwickelung nicht ganz so grofs ist, wie das des Kurzschlufsankers.

Ein Drehstrommotor Modell D mit Schleifringanker und Kurzschliefser auf Spannschlitten, herrührend von den Deutschen Elektrizitätswerken in Aachen, ist in Fig. 284 dargestellt.

Der in Fig. 283 dargestellte Anlasser dient im allgemeinen nur für das Inbetriebsetzen des Motors. Die Anlafswiderstände sind dabei für grofse Stromdichte berechnet, so dafs zur Vermeidung einer zu grofsen Erwärmung die Widerstände rasch, mindestens in einer halben Minute, ausgeschaltet werden müssen. Soll der Anlasser zugleich zur Regulierung der Tourenzahl dienen, so ist der Querschnitt des Widerstandsmaterials gröfser zu wählen. Sehr bequem sind auch zum Anlassen die Flüssigkeitsanlasser.

Fig. 284.



Umsteuerung der Drehstrommotoren. Die Umkehrung der Umdrehungsrichtung des Drehstrommotors erfolgt einfach dadurch, dafs man zwei der drei Zuleitungen vom Netze nach der Ständerwickelung miteinander vertauscht. Soll der Läufer in entgegengesetzter Richtung laufen, so schaltet man zunächst den Motor aus und nimmt dann mit einem dreipoligen Umschalter die Vertauschung zweier Leitungen vor. Aus- und Umschalter sind meistens in demselben Apparat vereinigt. Gröfsere Motoren müssen vor der Umsteuerung überhaupt erst still gesetzt und sodann mittelst Anlasser nach der Vertauschung der beiden Leitungen wieder in Betrieb gesetzt werden.

Vorteile der Drehstrommotoren. Die Drehstrommotoren zeichnen sich durch einfache Bauart aus, die besonders beim Motor mit Kurzschlufsanker hervortritt, aber auch dem Motor mit Schleifringanker eigen ist. Der sehr empfindliche Kollektor der Gleichstrommotoren ist bei den Drehstrommotoren nicht vorhanden. Infolge der einfachen Bauart der asynchronen Drehstrommotoren ist die Wartung derselben auf das geringste Mafs beschränkt.

Setzt man gleiche Konstruktion und gleiche Dimensionen des Ankers und des Magnetgestelles voraus, so hat bei gleichen Verlusten im Anker der Drehstrommotor eine etwas gröfsere Zugkraft als der Gleichstrommotor. Anzugskraft und Überlastungsfähigkeit guter Drehstrommotoren übertreffen meistens die der Gleichstrommotoren. Bei doppelter Belastung zeigt der Gleichstrommotor stets Neigung zur Funkenbildung, die beim Drehstrommotor nicht auftreten kann, der ebenso leicht wie der Gleichstrommotor für kurze Zeit die doppelte Belastung überwindet.

Der Drehstrommotor kann auch als Hochspannungsmotor für hohe Betriebsspannungen konstruiert und verwendet werden. Dies ist von hoher Bedeutung für den Wirkungsgrad der Energieübertragungen und Energieverteilungen auf weite Entfernungen. Da die primäre (Gehäuse-) Wickelung des Drehstrommotors feststeht, so kann sie leicht bei Anwendung geeigneter Schutzverkleidungen an die Hochspannungsleitung angeschlossen werden. Die Ankerwickelung kann dabei so ausgeführt werden, dafs in ihr überhaupt keine hohen Spannungen entstehen. Die Gleichstrommotoren können dagegen für Spannungen über 1000 Volt nur schwierig verwendet werden wegen der Isolation der Kollektorlamellen, die schon infolge des Bürstenstaubes bei hohen Spannungen unzureichend ist.

Ein Nachteil der Drehstrommotoren liegt darin, dafs die Regulierung der Tourenzahl in ökonomischer Weise unmöglich ist. Eine Beseitigung des Tourenabfalls vom Leerlauf bei Volllast oder eine Tourenerhöhung ist ausgeschlossen.

§ 76. Wechselstromtransformatoren. Der Transformator ist ein Apparat für Wechselströme ohne bewegte Teile zur Umwandlung elektrischer Leistung in elektrische Leistung.

1. Wesen des Transformators. Bringt man auf einen geschlossenen Eisenkern, der die Gestalt eines Ringes mit rechteckigem Querschnitt haben möge, zwei voneinander isolierte Bewickelungen p und s (Fig. 86), von denen die eine die andere vollständig überdeckt, und läfst man durch die Spule p einen Wechselstrom fliefsen, so entsteht im Eisenkern ein magnetischer Kraftlinienflufs, dessen Stärke und Richtung sich periodisch zugleich mit der Stärke des Wechselstromes in der Spule p ändert. Da die erzeugten Kraftlinien im Eisenkern Kreise bilden, so befindet sich im Innern der Spulen s und p ein der Stärke und Richtung nach veränderlicher Kraftlinienflufs, und die Spulen s und p verhalten sich ebenso wie die auf S. 160 betrachtete Spule, die in einem magnetischen Felde rotiert. In den Spulen s und p werden also elektromotorische Kräfte wechselnder Richtung induziert. Der Eisenkern mit den beiden Spulen s und p stellt einen Wechselstromtransformator dar; p ist die primäre Spule und s die sekundäre. Bei den praktisch ausgeführten Wechselstromtransformatoren kann man durch passende Anordnung der Spulen und durch die Konstruktion des Eisenkernes erreichen, dafs fast der ganze Kraftlinienflufs, welchen der Strom der primären Spule hervorbringt, auch die Windungsebenen der sekundären Spule durchsetzt. Nehmen wir demnach an, dafs die magnetische Streuung vernachlässigt werden kann, und schliefsen wir die Enden (Klemmen) der primären Spule an die beiden von den Pol-

klemmen einer Wechselstromdynamo ausgehenden Leitungen, so werden in den Spulen p und s elektromotorische Kräfte bezw. E_1 und E_2 induziert. Sind n_1 und n_2 die Windungszahlen bezw. der primären und der sekundären Bewickelung, so ist

$$E_1 : E_2 = n_1 : n_2,$$

d. h. die in den beiden Spulen induzierten elektromotorischen Kräfte (effektive Werte) verhalten sich wie die Windungszahlen der Spulen. Die in der primären Spule induzierte E. M. K. $= E_1$ wirkt dabei der Spannungsdifferenz e_1 zwischen den Polklemmen der primären Spule entgegen. e_1 ist die Spannungsdifferenz zwischen den beiden von der Wechselstromdynamo ausgehenden Leitungen. Diese Wechselspannung e_1 ist gröfser als E_1 in Rücksicht auf den Spannungsverlust in der Spule p. Zwischen den Polklemmen der sekundären Spule entsteht eine Wechselspannung e_2, und annähernd haben wir auch

$$e_1 : e_2 = n_1 : n_2.$$

Die in der primären Spule aufgewendete Energie ist dabei

$$e_1 \, i_1 \cos \varphi_1 \text{ Watt},$$

wenn φ_1 die Phasendifferenz zwischen der Primärspannung e_1 und dem Primärstrom i_1 ist. An den Klemmen der sekundären Spule sei ein Netz mit parallel geschalteten Glühlampen angeschlossen, welche insgesamt den Strom i_2 verbrauchen. Da in diesem Falle die Belastung des Transformators induktionsfrei ist, so ergibt sich als Nutzleistung desselben $e_2 \, i_2$ Watt.

$$\frac{e_1 \, i_1 \cos \varphi_1}{e_2 \, i_2} \text{ ist der Wirkungsgrad des Transformators.}$$

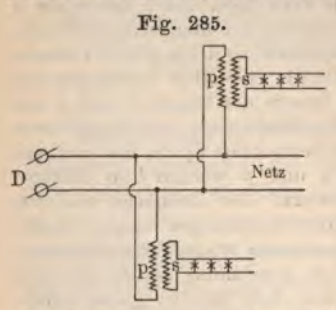
Der Wirkungsgrad guter Transformatoren beträgt bei voller Belastung derselben 0,94 bis 0,97, so dafs annähernd auch

$$i_1 : i_2 = n_2 : n_1$$

ist, wofern also φ_1 nur klein ist. Hierbei handelt es sich um die effektiven Stärken des primären und sekundären Stromes, die also annähernd den Windungszahlen verkehrt proportional sind. $n_1 : n_2$ nennt man das **Umsetzungsverhältnis**.

2. **Verwendung des Wechselstromtransformators.** Der Wechselstromtransformator dient also zur Umformung eines Wechselstromes in einen anderen von höherer oder niedriger Spannung; er verwandelt elektrische Energie in elektrische Energie und ändert dabei nur die Gröfsen der Faktoren: Spannung und Stromstärke, welche die Energie des Stromes bestimmen. Der Wechselstromtransformator hat keine beweglichen, der Abnutzung unterworfenen Teile und zeichnet sich durch grofse Einfachheit der Konstruktion aus.

Fig. 285.



Die Wechselstromdynamos eignen sich ihrer Bauart wegen vorzüglich zur Erzeugung hoher Spannungen (1000 Volt, 5000 Volt und mehr). Da für die praktische Verwendung, für den Betrieb elektrischer Lampen diese Spannung zu hoch ist, so wird der hochgespannte Wechselstrom der Dynamo durch Transformatoren in Ströme von niedriger Spannung (100 V. und weniger) verwandelt. Während dabei also die Spannung vermindert wird, nimmt bei der Umwandlung die Stromstärke fast in demselben Verhältnisse zu. Die Wechselstromdynamo in Verbindung mit dem Wechselstromtransformator eignet sich daher vorzüglich zur Energieverteilung auf weite Entfernungen, indem die in der Dynamo er-

ugten hochgespannten Ströme bei ihrer geringen Stärke durch Leitungen it geringem Kupfergewicht auf weite Entfernungen unter nur mäfsigen Versten fortgeleitet werden, um an der Verbrauchsstelle durch Transformatoren stärkere Ströme niedriger Spannung verwandelt zu werden. Auch hierbei rbeitet die Wechselstromdynamo auf ein Netz konstanter Spannung (Fig. 285), wischen dessen beiden Leitern die primären Spulen der Transformatoren arallel geschaltet sind. Soll dabei die hohe Netzspannung in eine kleinere 'erbrauchsspannung umgewandelt werden, so erhält die primäre Spule zahleiche Windungen mit kleinem Kupferquerschnitt, während die sekundäre pule entsprechend dem Umsetzungsverhältnis eine geringere Zahl Windungen nit gröfserem Kupferquerschnitt hat.

3. Aufbau der Wechselstromtransformatoren. Der Eisenkern er Wechselstromtransformatoren besteht aus dünnen Eisenblechen von etwa 0,3 is 0,5 mm Dicke. Er wird zum bequemen Aufbringen der beiden Spulen neist aus zwei oder mehreren Teilen hergestellt, die nachher zum geschlossenen Eisenkörper zusammengesetzt werden. Dabei ist sorgfältig darauf zu chten, dafs der magnetische Widerstand an den Stofsflächen nicht vergröfsert wird, dafs überhaupt ein ununterbrochener Pfad für die Kraftlinien n Eisen vorhanden ist. Auf dem Eisenkern befinden sich nebeneinander pulen, die abwechselnd zur primären und zur sekundären Wickelung gehören. Die Spulen jeder Bewickelung sind in Reihe geschaltet, können aber uch zur Erzeugung sehr kräftiger Ströme in der sekundären Wickelung in ruppen parallel geschaltet sein. In vielen Fällen liegt die eine Bewickeung über der anderen, wobei beide sehr sorgfältig durch die besten Isoliermaterialien voneinander getrennt sind.

Dem Aufbau nach unterscheiden wir Kern- und Manteltransformatoren. In Fig. 286a ist ein Kerntransformator dargestellt. Über zwei einander gegenüber liegende Seiten des Kernes sind primäre und sekundäre Spulen geschoben. Fig. 286 b stellt einen Manteltransformator dar, bei welchem die primäre und die sekundäre Spule fast ganz im Eisenkern eingebettet

Fig. 286a. Fig. 286b. Fig. 287.



iegen. Im übrigen kommen zahlreiche Formen des Kernes vor. Fig. 287 tellt den Eisenkörper eines Transformators für Dreiphasenstrom dar. Jeder er drei Kerne trägt eine primäre und eine sekundäre Spule; die drei Eisenerne sind oben und unten durch ein gemeinsames Joch verbunden.

Wir gehen hier auf die Bauart und Wirkungsweise der Wechselstromransformatoren nicht weiter ein, da dieselben an Bord keine Verwendung nden. Ausführliches über die Transformatoren siehe in Gisbert Kapp, 'ransformatoren für Wechselstrom und Drehstrom. Verlag von J. Springer, erlin, und R. Oldenbourg, München.

Vierter Abschnitt.

Galvanische Elemente und Akkumulatoren.

Neuntes Kapitel.

Primär- und Sekundär-Elemente.

§ 77. Verschiedene Arten der Erzeugung des elektrischen Stromes. Wir unterscheiden mit Bezug auf die technische Verwendung zwei Arten von Stromquellen:

1. Galvanische Elemente. Die einfachste Form derselben ist bereits im § 9 beschrieben. In den Elementen werden zwei Metalle, von denen das eine auch durch Kohle ersetzt werden kann, mit einem Leiter zweiter Klasse in Berührung gebracht. Die E. M. K. und die Spannungsdifferenz zwischen den Polklemmen der beiden Elektroden entsteht in diesem Falle durch die chemischen Prozesse, welche sich zwischen Elektroden und Leiter zweiter Klasse abspielen. In den galvanischen Elementen findet eine Umwandlung von chemischer Energie in elektrische statt.

2. Dynamos, deren Wirkungsweise auf den im vierten Kapitel besprochenen Induktionswirkungen beruht.

Von den Thermoelementen und Thermosäulen können wir ihrer geringen technischen Verwendung wegen ganz absehen.

Akkumulatoren oder Sammler dienen zum Aufsammeln elektrischer Energie und werden geladen, wobei die Bleielektroden durch die infolge der Elektrolyse auftretenden Gase Wasserstoff und Sauerstoff eine chemische Umwandlung erfahren.

§ 78. Das galvanische Element. Das Element (Fig. 288) ist in seinem Aufbau dem im § 9 beschriebenen Voltaschen Elemente gleich. Eine reine Zink- und Kupferplatte tauchen in verdünnte Schwefelsäure. Verbindet man die Polklemmen durch einen Schliefsungsdraht, so fliefst der Strom in ihm von der Kupfer (+)-Polklemme nach der Zink (—)-Polklemme. Im Element selbst geht der Strom

der Zinkelektrode zur Kupferelektrode über, die Kupferelektrode also die Kathode. Die Füllung des Elementes ist ein Elektrolyt, durch den elektrischen Strom zersetzt wird (vergl. § 10). Dabei der Sauerstoff an die Zinkelektrode und bildet Zinkoxyd, ZnO, sich unter der Einwirkung der verdünnten Schwefelsäure weiter chwefelsaurem Zink, $ZnSO_4$, umbildet. Der Wasserstoff tritt an Kupferelektrode und entweicht als Gas.

Der Vorgang im Elemente ist durch das folgende Schema dargestellt:

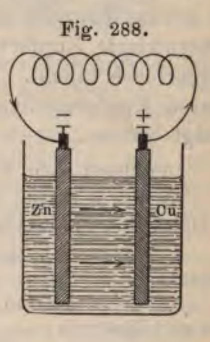
H_2SO_4 + Wasser

Anode (Zink) ↙ ↘ Kathode (Kupfer)

SO_4, welches aus dem Lösungswasser H_2 aufnimmt und H_2SO_4 bildet, während der Sauerstoff des Wassers mit Zn ZnO ergibt. — H_2

Nachdem das Element (Fig. 288) zusammengesetzt ist, fliefst zuerst kräftiger Strom im Schliefsungskreis, was besonders hervortritt, n man z. B. durch einen kurzen Platinat die Polklemmen verbindet; der Draht d zum Glühen erhitzt. Aber man findet, s das Glühen schnell abnimmt und zuletzt z aufhört, d. h. dafs der Strom schwächer d. Der Grund hierfür liegt in der im Elent auftretenden Polarisation, d. h. einer ktromotorischen Kraft, die der ursprüngen entgegenwirkt und diese teilweise oder ganz aufhebt. Das Element ist ein innstantes, d. h. die E. M. K. nimmt mit hsender Stromstärke ab.

Fig. 288.



Die Abnahme der Stromstärke erfolgt im allgemeinen um so schneller, leiner der äufsere Widerstand ist. Auf der Kupferelektrode bildet sich feine Wasserstoffschicht, die zusammen mit der Zinkelektrode ein Elet bildet, das einen dem Zinkkupferelemente entgegengesetzten Strom zu rn sucht. Man nennt Elektroden, die infolge der Elektrolyse mit Gas ckt sind, polarisiert. In unserem Falle bildet die polarisierte Kupfertrode mit dem Zink eine Gegen-E. M. K., welche die ursprüngliche E. M. K. iefslich bis auf einen kleinen Rest aufhebt.

Reinigt man die Cu-Elektrode von der Wasserstoffschicht, so gibt das nent nach dem Zusammensetzen sogleich einen kräftigen Strom, der aber so schnell wie früher an Stärke abnimmt.

§ 79. Konstante Elemente. Das Auftreten der elektromotohen Gegenkraft kann dadurch verhindert werden, dafs die Entkelung von freiem Wasserstoff an der Kupferelektrode verhindert d. Bei den sogenannten konstanten Elementen wird dieses dadurch eicht, dafs man jede der Elektroden in eine besondere Flüssigkeit

taucht oder auch eine einzige Flüssigkeit anwendet, in welcher der Wasserstoff im Augenblick des Entstehens durch den vorhandenen Sauerstoff oxydiert wird, also in Wasser übergeht. Bei den konstanten Elementen mit zwei Flüssigkeiten werden die letzteren entweder durch eine poröse Scheidewand (Tonzelle) voneinander getrennt, oder die Vermischung der Flüssigkeiten wird dadurch verhindert, dafs man sie entsprechend der Gröfse ihrer spezifischen Gewichte übereinander schichtet. Wegen der Diffusion ist freilich eine andauernde Trennung beider Flüssigkeiten nicht zu erreichen.

Als Anode verwendet man in den meisten Fällen amalgamiertes Zink. Das nicht amalgamierte Zink würde auch bei nicht geschlossenem Stromkreise von der verdünnten Schwefelsäure angegriffen, und bei geschlossenem Stromkreise ist bei nicht amalgamierter Zinkelektrode der Zinkverbrauch erheblich höher, als er durch die Stromstärke des Elementes allein bedingt ist. Um das Zink zu amalgamieren, wird es mit verdünnter Schwefelsäure gereinigt, und dann wird auf die gereinigte Elektrode mit einer Bürste Quecksilber aufgetragen.

1. Das Daniellsche Element (Fig. 289). Das amalgamierte Zink taucht in verdünnte Schwefelsäure oder Zinkvitriollösung, mit der die poröse Tonzelle gefüllt ist. Aufserhalb der letzteren befindet sich konzentrierte Kupfervitriollösung, in welche ein cylindrisch gebogenes Kupferblech taucht. m und p sind die an die beiden Elektroden gelöteten Kupferstreifen, an denen die Polklemmen des Elementes befestigt werden.

Die chemischen Vorgänge im Elemente sind folgende:

An der positiven Elektrode (Zink) wird Sauerstoff O ausgeschieden, und es bildet sich Zinkoxyd, das weiter

$$ZnO + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2O$$

bildet.

An der negativen Elektrode (Kupfer) wird Wasserstoff H_2 entwickelt. und es bildet sich

$$H_2 + CuSO_4 = H_2SO_4 + Cu,$$

d. h. metallisches Kupfer schlägt sich auf der Kupferelektrode nieder. Beim Daniellschen Element und bei den Abänderungen desselben wird also der Strom durch den Verbrauch von Zink hervorgebracht, wobei sich Zinksulfat bildet. Die Masse der Kupferelektrode wird aufserdem durch das abgeschiedene Kupfer während des Gebrauches des Elementes vergröfsert. Allmählich nimmt der Koncentrationsgrad der $CuSO_4$-Lösung ab. Dadurch ändern sich die E.M.K. des Elementes und der innere Widerstand. Die poröse Tonzelle wird auch im Laufe der Zeit mit Kupfersulfatkristallen durchsetzt, wodurch ebenfalls eine Vergröfserung des inneren Widerstandes herbeigeführt wird.

Der innere Widerstand hängt im übrigen von der Gröfse des Elementes ab, er beträgt bei den Elementen gebräuchlicher Gröfse meist 0,3 bis 0,6 Ω; dagegen ist die E.M.K. allein durch den chemischen Prozefs im Element bestimmt und also von der Gröfse des Elementes ganz unabhängig. Die E.M.K. des Daniellschen Elementes beträgt etwa 1,07 Volt.

Als Modifikation des Daniellschen Elementes sei das Mei-
ersche Element (Fig. 290) hervorgehoben, bei dem die Tonzelle
hrt werden kann. Der Zinkcylinder steht auf dem Vorsprung eines
unten verengenden Glasgefäfses *A*. Der kurze Cylinder *e* aus Kupfer-
steht in einem kleinen Gefäfse *d d* am Boden des Gefäfses *A A*. Von

Fig. 289.



Fig. 290.

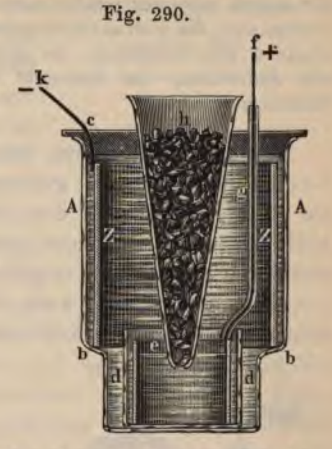


Fig. 291.



e führt ein mit Guttapercha isolierter Kupferdraht nach *f*. Das Gefäfs *A A* wird mit einer Lösung von Bittersalz, $Mg\,S\,O_4$, gefüllt. Vom Deckel des Gefäfses *A* hängt ein Glastrichter herab, der mit Stücken von Kupfervitriolkristallen gefüllt ist, und in dessen untere Öffnung ein kurzes Glasrohr mittels eines Korkes eingesetzt ist. Die Mündung des Glasrohres befindet sich in dem Raume des Glases *d d*. Wegen ihres gröfseren spezifischen Gewichtes diffundiert die Lösung des Kupfervitriols langsam in die Bittersalzlösung und kommt mit der Kupferelektrode in Berührung. Wegen des grofsen Abstandes zwischen den beiden Elektroden ist der innere Widerstand des Elementes verhältnismäfsig grofs, er beträgt bei den Elementen mittlerer Gröfse 8 bis 9 Ω. Die E.M.K. ist konstant und etwa 1 Volt. Diese Elemente können mehrere Monate im Betriebe sein, ohne dafs ein Nachfüllen erforderlich wird; sie dienen insbesondere zur Stromlieferung für Telegraphenlinien.

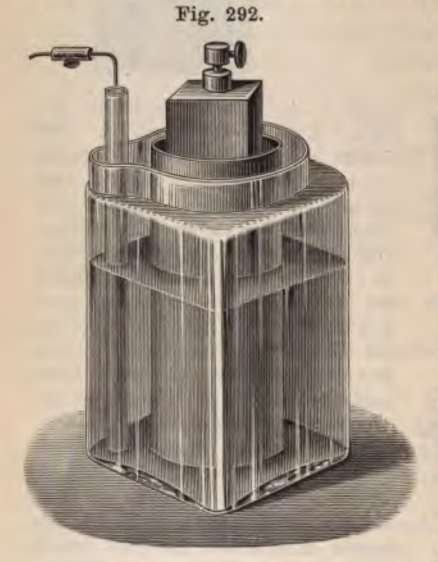
Von den zahlreichen anderen konstanten Elementen, deren Anwendung
a des ausgedehnten Gebrauches der Akkumulatoren immer geringer

wird, sei nur noch das Bunsensche Element (Fig. 291) hervo
Als Kathode dient ein Stab aus Gasretortenkohle, welcher in die mi
trierter Salpetersäure gefüllte Tonzelle taucht. Als Anode wird ein
aus amalgamiertem Zinkblech in verdünnter Schwefelsäure gebrau
E.M.K. des Elementes ist etwa 1,8 bis 1,9 Volt; der innere Widers
Elementen mittlerer Gröfse meistens 0,1 bis 0,2 Ω. Beim Gebrauche
mentes sind die sich entwickelnden Dämpfe von Stickstoffdioxyd den
organen sehr schädlich, sie greifen auch alle Metallgegenstände
Die Aufstellung der Elemente kann nur in einem mit Abzug ve
Raume geschehen.

§ 80. Das Element von Leclanché. Trockenelemen
Leclanché-Elemente gehören zu den inkonstanten Ele
sie sind besonders in den Fällen, wo es auf kurz andauern
kräftige Ströme ankommt, wie bei dem Betriebe elektrischer
und Tableaus, sehr zu empfehlen.

Das Element von Leclanché. Bei der älterer
(Fig. 292) wird eine Kohleplatte in eine mit Braunstein un
pulver gefüllte Tonzelle
die die Braunsteinmasse
menhalten soll. Als ande
trode dient ein Zinkst
als Füllung Salmiaklösun

Fig. 292.



Neuerdings prefst ma
hohem Drucke Kohle und
stein zu einem massiven
zusammen, der mit dem
verdickten Ende fest im Gla
des Elementes steht. Mit ü
Rand des Gefäfses greifender
streifen hängt der Cylinder a
blech. Die Wirkung des El
beruht auf dem oxydierende
des Mangansuperoxyds, w
der die Polarisation verurs
Wasserstoff unschädlich g
wird.

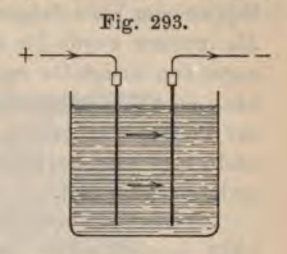
Trockenelemente si
stens Leclanché-Element
denen die Elektroden in eine
neten, mit Salmiaklösung get
Masse stehen. Damit sie möglichst lange gebrauchsfähig bleiben, m
Füllmasse so gewählt sein, dafs sie auf längere Zeit ihre Feuchtigkeit
Sehr brauchbar sind die von der Firma Siemens und Halske nach dem
Hellesen hergestellten Elemente, ebenso das Hydra-Element von
und König in Berlin und viele andere mehr. Für den Betrieb der T
und Wecker an Bord kommen nur die Trockenelemente zur Anwendu

§ 81. Der Akkumulator oder Sammler. Die in § 78 un
beschriebenen Elemente heifsen auch Primärelemente; bei
Konstruktion wird die Wirkung der Polarisation möglichst z

igen gesucht. Dagegen wird in den Akkumulatoren — den enannten Sekundärelementen — gerade die Polarisation zur omlieferung benutzt.

Stellt man zwei Bleiplatten (Fig. 293) als Elektroden in verdünnte wefelsäure, durch die ein kräftiger Strom (Ladestrom) fliefst, so d die Schwefelsäure zersetzt und an der dem positiven Pol der Stromquelle verdenen Bleiplatte — der Anode — entkelt sich Sauerstoff, welcher das Blei zu isuperoxyd oxydiert. Die Kathode bedeckt mit Wasserstoff, welcher die Bleiplatte, n sie oxydiert war, zu reinem Blei redut, sonst aber als Gas entweicht. Infolge er Elektrolyse tritt eine elektromotorische enkraft auf die der E.M.K. der ladenden Stromquelle entgegenkt. Nachdem der Ladestrom einige Zeit gewirkt hat, ist die Anode einer braunen Schicht von Bleisuperoxyd bedeckt, während die hode aus reinem Blei besteht. Unterbricht man jetzt den Ladem, und verbindet man unter Einschaltung eines Ampèremeters st passend gewähltem Widerstand die beiden Elektroden mitander, so bilden die letzteren die Pole eines Elementes, und zwar der positive Pol derjenige, welcher während der Ladung mit dem itiven Pole der den Ladestrom liefernden Stromquelle verbunden . Während der Entladung fliefst durch das Element ein Strom in gegengesetzter Richtung wie bei der Ladung, damit geht auch rend der Entladung im Element der umgekehrte chemische Prozefs sich wie bei der Ladung.

Fig. 293.



Die während der Ladung mit Bleisuperoxyd bedeckte und mit dem Pol der ladenden Stromquelle verbundene Elektrode wollen wir z als positive (+) Elektrode bezeichnen.

Während der Entladung bildet sich an der positiven Elektrode Wasser-, durch welchen das Bleisuperoxyd reduziert wird, während die negative trode oxydiert. Bei der einfachen Anordnung (Fig. 294), durch welche die Wirkungsweise des Akkumulators erläutert werden soll, nimmt die ke des Entladestromes schnell ab und wird Null, wenn beide Bleiplatten n Anfangszustand erreicht haben.

Alle bis jetzt praktisch bewährten Sammler enthalten Bleielektroden, in verdünnte Schwefelsäure tauchen. Planté stellte seinen ersten umulator aus zwei in geringem Abstande voneinander aufgewickelten platten her. Durch abwechselndes Laden und Entladen mit wachen Strömen, wobei auch zeitweise der Ladestrom in entgegenetzter Richtung durch den Akkumulator gesandt wurde, erhielt er der negativen Elektrode eine dünne Schicht von lockerem Bleiwamm, während die positive Elektrode mit Bleisuperoxyd eckt wurde. Zu diesem Formieren der Platten gehört ein grofser

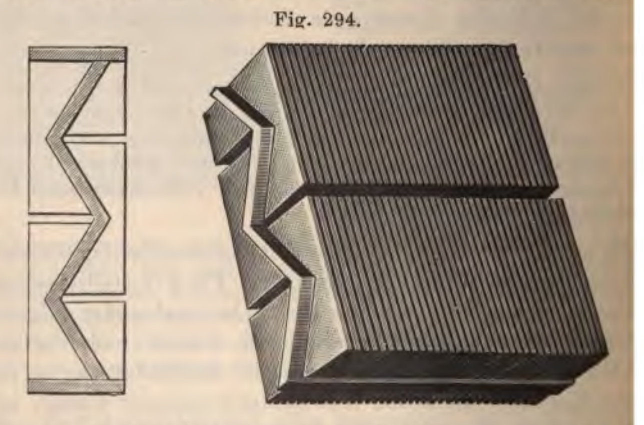
Aufwand von elektrischer Energie und von Zeit. Geeigneter daher das Verfahren von Faure, Sellon und Volkmar, bei w Gitterplatten zur Verwendung kamen, die von vornherein n durch den Formierungsprozefs erzeugten aktiven Massen wurden. Die Gitterplatten haben an der Oberfläche regelmäfsig l Rippen oder Vertiefungen, die zum Festhalten der aktiven Masse Als letztere wurde für die positiven Elektroden Bleisuperoxyd, negativen Bleiglätte verwendet. Die Formierung solcher Gitter kann erheblich schneller ausgeführt werden, jedoch ist die Leben der Platten nur gering, weil während des Gebrauches die aktive leicht und bald herausfällt, wodurch die Leistungsfähigkeit des mulators abnimmt.

Wesentlich vervollkommnet wurden die Akkumulatoren im 1882 durch Tudor, indem die Bleiplatten zunächst nach den fahren von Planté einige Wochen hindurch formiert wurden. E ergibt sich eine fest haftende Schicht von Bleisuperoxyd, auf die Mennige gestrichen wird. Bei der weiteren Formierung wird die nige in kurzer Zeit in Bleisuperoxyd übergeführt. Auf diese We es gelungen, Akkumulatoren von grofser Haltbarkeit durch einen mierungsprozefs zu erhalten, der wesentlich kürzer ist als das Plantésche Verfahren.

Neuerdings ist es gelungen, Platten mit sehr grofser Ober herzustellen und diese Platten nach dem Plantéschen Verfahr kurzer Zeit mit einer ausreichenden Schicht von Bleisuperoxyd decken. Damit kann das Einpressen einer auf die Platte gestric aktiven Masse überhaupt ganz vermieden werden.

Fig. 294 zeigt ein Stück der sogenannten Grofsoberflächenplatte, als positive Elektrode in den Akkumulatoren der Berliner Akku

Fig. 294.



toren- und Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, zur Anwendung k Der Kern der Elektrode hat Zickzackform, und es sind nach beiden hin in geringen Abständen nebeneinander dreieckige Lamellen ang

che an der Spitze einer Zacke zusammenhängen, dagegen ist an der dieser
tze auf der anderen Seite der Platte gegenüberliegenden tiefsten Stelle
Nute vorgesehen, so dafs jede Lamelle sich nach allen Richtungen frei
dehnen kann. Fig. 296 zeigt die gebräuchliche Plattenform.

Fig. 295 stellt einen fertig montierten Akkumulator der **Berliner**
kumulatoren- und Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, dar. Die
l der Platten ist ungerade; abwechselnd negative und positive Platten

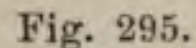
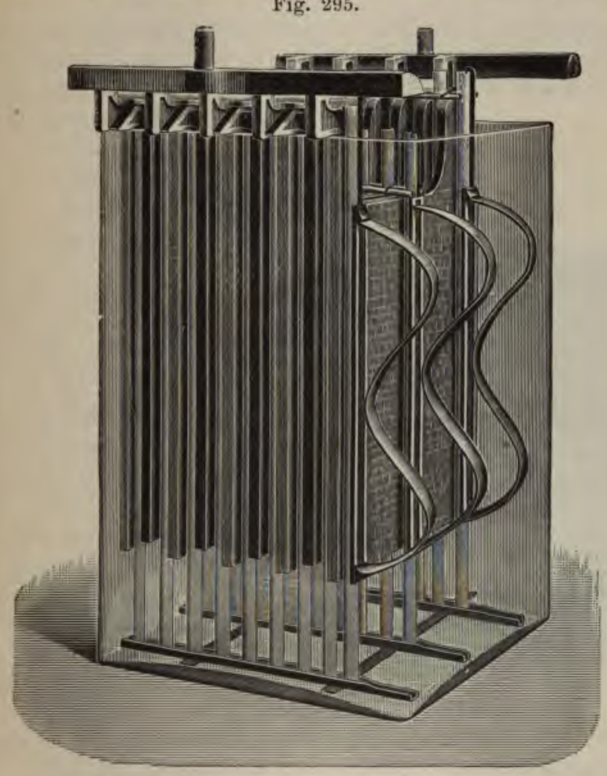


Fig. 295.



vertikal aufgestellt und die äufseren Platten sind negative. Die posi-
n und die negativen Platten sind unter sich durch Bleileisten verbunden.
angegossenen Fahnen der Platten ruhen auf dem Glasrande. Der Ab-
nd der Platten untereinander wird durch zwischen dieselben geschobene
sstäbe gesichert. Die drei Spangen aus Blei in dem rechten Teile des
äfses füllen den Raum aus, der zum Einsetzen neuer Platten verwendet
d, wenn die Kapazität des Akkumulators infolge einer Steigerung des
ombedarfes vergröfsert werden mufs.

An der positiven Elektrode des geladenen Akkumulators haben
Bleisuperoxyd, PbO_2, an der negativen dagegen Bleischwamm, Pb.
positiven Elektroden haben dunkelbraune Farbe, die negativen
graues Aussehen. Die Klemmenspannung des geladenen Akku-
lators beträgt etwa 2,05 bis 2,1 Volt.

Während der Entladung ist der Vorgang an der +-Elektrode etwa folgender:

$$PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2\,H_2O$$

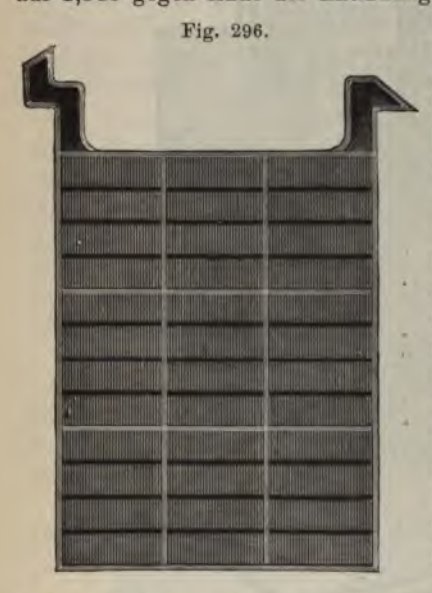
und an der —-Elektrode

$$Pb + O + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$$

Infolge der Entladung bildet sich also an beiden Platten schwefelsaures Blei ($PbSO_4$) und Wasser.

Während der Entladung wird die Schwefelsäure gebunden, wodurch das spezifische Gewicht der Säure von dem Anfangswerte 1,165 auf 1,145 gegen Ende der Entladung abnimmt. Demnach kann man aus dem Eintauchen eines zwischen den Elektroden schwimmenden **Aräometers** auf den Entladungszustand schliefsen. Dazu nimmt während der Entladung die Klemmenspannung des Akkumulators langsam mit der weiteren Bildung von $PbSO_4$ ab. Würde man die Entladung so weit treiben, bis die obersten Schichten der Elektroden ganz in $PbSO_4$ verwandelt wären, so würden die Elektroden chemisch einander gleich sein, und die Klemmenspannung wäre Null geworden. In der Praxis darf die Entladung niemals so weit geführt werden, sondern mufs vielmehr unterbrochen werden, nachdem die Klemmenspannung der Zelle auf 1,8 Volt gesunken ist. Ist dieser Betrag erreicht, so mufs der Akkumulator von neuem geladen werden, wenngleich noch eine reichliche Menge elektrischer Energie in ihm enthalten ist.

Fig. 296.



Beim Laden mufs, wie früher bereits hervorgehoben, die positive Polklemme des Akkumulators mit der positiven Polklemme der ladenden Dynamo verbunden werden.

Bei der Ladung fliefst der Strom durch die verdünnte H_2SO_4 von der positiven Elektrode zur negativen. An der ersteren wird Sauerstoff O, an der letzteren Wasserstoff H abgeschieden.

Der Vorgang an der positiven Elektrode kann dargestellt werden durch:

$$PbSO_4 + O + H_2O = PbO_2 + H_2SO_4,$$

und an der negativen Elektrode:

$$PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4.$$

Während der Ladung nimmt wegen der Bildung der Schwefelsäure die Dichte der verdünnten Säure zu. Sobald die Ladung ihrem

Ende entgegengeht, werden nicht mehr alle entwickelten Gase H und O zur chemischen Umwandlung der Oberflächenschichten gebraucht, es tritt die Gasentwickelung, das sogenannte Kochen, des Akkumulators ein.

Die Stärke des maximalen Entladestromes, wie auch die des maximalen Ladestromes, richtet sich nach der Gröfse der Plattenoberfläche und nach der Zahl und Konstruktion der Platten des Akkumulators. Ein Überschreiten der maximalen Lade- und Entladestromstärke soll möglichst im Betriebe vermieden werden; beide sind für jede Gröfse des Akkumulators vorgeschrieben.

In den meisten Fällen, und fast ausschliefslich in Beleuchtungsanlagen, wird der Akkumulator mit fast konstanter Stromstärke geladen, die meist etwas kleiner als die normale Entladestromstärke ist. Bei der Ladung steigt die Klemmenspannung sehr schnell von 2 Volt auf 2,15 Volt und dann langsam auf 2,2 Volt. Gegen Ende der Ladung erfolgt ein rasches Ansteigen von 2,2 Volt auf 2,6 Volt.

Für die Spannung (110 Volt oder 220 Volt) beim elektrischen Lichtbetrieb werden Akkumulatoren in gröfserer Zahl (62 bezw. 124 Zellen) hintereinander geschaltet. Die Verbindung der positiven Elektroden der einen Zelle mit den negativen der folgenden geschieht durch Verlöten der Bleilamellen oder -leisten, an denen die zusammengehörigen Elektroden in jeder Zelle befestigt sind. Das Verlöten mufs im Wasserstoffgebläse vorgenommen werden.

Unter der Kapazität des Akkumulators versteht man das Produkt aus der maximalen Entladestromstärke in die Entladedauer. Ein Akkumulator, der während vier Stunden den Strom 80 Amp. liefern kann, hat demnach die Kapazität $4 . 80 = 320$ Ampèrestunden. Derselbe Akkumulator würde acht Stunden lang den konstanten Strom 40 Amp. liefern können. Die von der Zelle bei der Ladung aufgenommene Elektrizitätsmenge ist stets gröfser als die bei der Entladung abgegebene, da die bei der Ladung während des „Kochens" entweichenden Gase nicht zur Aufspeicherung von Energie im Akkumulator beitragen. Das Verhältnis der letzteren zur ersteren bezeichnet man als den Wirkungsgrad in Bezug auf Ampèrestunden. Je nach der Ausführung der Ladung beträgt dieser Wirkungsgrad 0,915 bis 0,94.

Ist E die Gegen-E.M.K. des Akkumulators bei der Ladung, w der Widerstand des Akkumulators einschliefslich des Widerstandes der von der ladenden Dynamo nach dem Akkumulator führenden Leitungen, so mufs bei der Stärke i des Ladestromes die Polklemmenspannung der Dynamo

$$E_1 = E + i w$$

sein. Die Gegen-E.M.K. des Akkumulators E steigt im Laufe der Ladung an, also mufs auch E_1 zur Erhaltung der Stromstärke erhöht werden. Während der Entladung mit der Stromstärke i ist dagegen die Klemmenspannung E_2 des Akkumulators

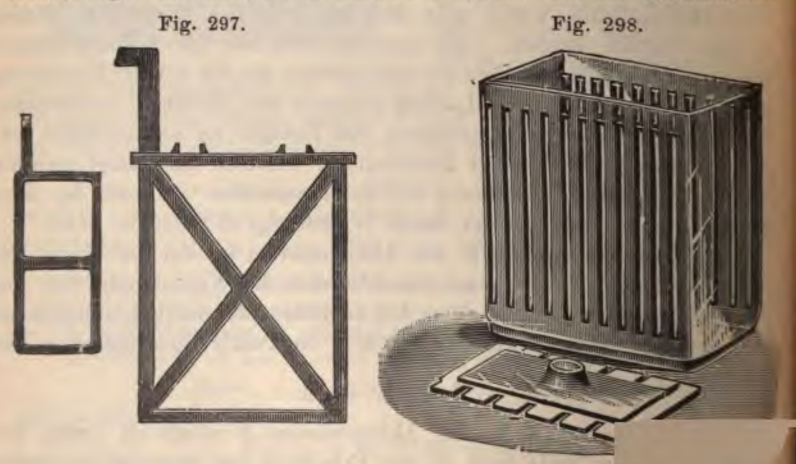
$$E_2 = E - iw.$$

Also mufs die mittlere Ladespannung etwa um den doppelten Betrag des Spannungsverlustes im Akkumulator gröfser sein als die mittlere Entladespannung. Demnach ist der Wirkungsgrad des Akkumulators inbezug auf Leistung nur 0,75, d. h. von den während der Ladung aufgewendeten Wattstunden werden bei der Entladung nur 75 Proz. wieder zurück erhalten.

Zahl der Zellen. Soll die Betriebsspannung 110 Volt betragen, so sind $\frac{110}{1,8} = 62$ Zellen in Reihenschaltung erforderlich. Solange die Spannung jeder Zelle noch nicht auf den Grenzwert 1,8 gesunken ist, mufs zur Erhaltung der konstanten Spannung, wie es für den Betrieb parallel geschalteter Lampen gefordert wird, die Zahl der eingeschalteten Zellen kleiner sein. Soll der Akkumulator während der Ladung und Entladung Lampen bei konstanter Spannung speisen, so mufs mit dem Zellenschalter (vergl. § 84), je nach dem Spannungszustand der Zellen, die Zahl der zur Stromlieferung herangezogenen Zellen verändert werden. Während der Ladung sind dabei Zellen nacheinander auszuschalten, und wenn gegen Ende der Ladung die Spannung der Zelle auf 2,6 gestiegen ist, sind zum Betriebe der Lampen bei 110 Volt nur noch $\frac{110}{2,6} = 42$ Zellen in Reihenschaltung erforderlich.

§ 82. Beschreibung einiger Akkumulatoren. 1. Transportable Akkumulatoren der Berliner Akkumulatoren- und Elektrizitätsgesellschaft Dr. Lehmann u. Mann. Um bei Akkumulatoren

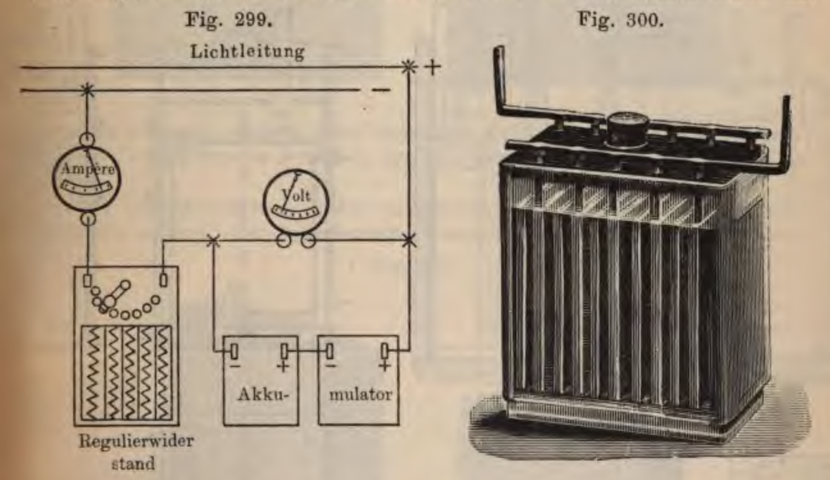
Fig. 297. Fig. 298.



für transportable Zwecke ein möglichst geringes Plattengewicht zu haben, liegt das Bestreben nahe, die aktive Masse möglichst zu vergröfsern und das

Bleigewicht zu verringern. Dies wird durch Anwendung nur eines Hartbleirahmens von < -, ⊂ - oder ⊏ -förmigem Querschnitt erreicht, der vollständig mit aktiver Masse ausgefüllt wird (Fig. 297). Die Rahmen mit gröfseren Dimensionen werden durch Querstege oder Kreuze von gleicher Querschnittsform verstärkt. Das Ausfüllen des Rahmens mit aktiver Masse wird einerseits durch die Anwendung eines besonderen Pastverfahrens, andererseits durch Vermischung der Masse mit organischen flüssigen Kohlenwasserstoffverbindungen bewirkt, welche im Laufe der Fabrikation mit den Bleioxyden gut leitende basische Bleiverbindungen bilden, die, weil in der aktiven Masse erzeugt, in dieser fein und netzartig verteilt sind und derselben deshalb eine aufserordentliche Festigkeit und Leitungsfähigkeit erteilen. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt stellte fest, dafs diese Akkumulatoren eine konstant bleibende Kapazität von 74,7 Ampèrestunden pro 1 kg der positiven Elektrode liefern. Die Gefäfse zur Aufnahme der Platten bestehen aus Glas (Fig. 298), Hartgummi oder Celluloid und sind im allgemeinen innen mit

Fig. 299. Fig. 300.



Nuten bezw. Rippen versehen, wodurch die eingestellten Platten in gleichmäfsiger Entfernung gehalten werden. Die Zellen werden mit passenden Deckeln verschlossen und mit Vergufsmasse abgedichtet. Zur Nachfüllung von Säure bezw. zum Abzug der Gase sind die Deckel noch mit einer Öffnung versehen, die bei den Glasgefäfsen durch einen durchbohrten Weichgummipfropfen verschlossen wird. Die Zellen werden zu mehreren in Serienschaltung in einem Holzkasten eingebaut, wodurch der Transport erleichtert wird. Auch können diese Akkumulatoren mit sogen. Trockenfüllung geliefert werden, wodurch das durch Erschütterungen verursachte Herausspritzen der Säure gänzlich ausgeschlossen wird. Hierbei wird eine weiche, gelatinöse Füllung oder auch solche aus hygroskopischer Masse verwendet.

In Fig. 299 ist das Schaltungsschema für die Ladung von zwei Zellen durch Anschlufs an eine vorhandene Lichtleitung dargestellt. Letztere ist beendet, wenn in jeder Zelle die Gasentwickelung eingetreten ist, und die Spannung 2,6 Volt beträgt.

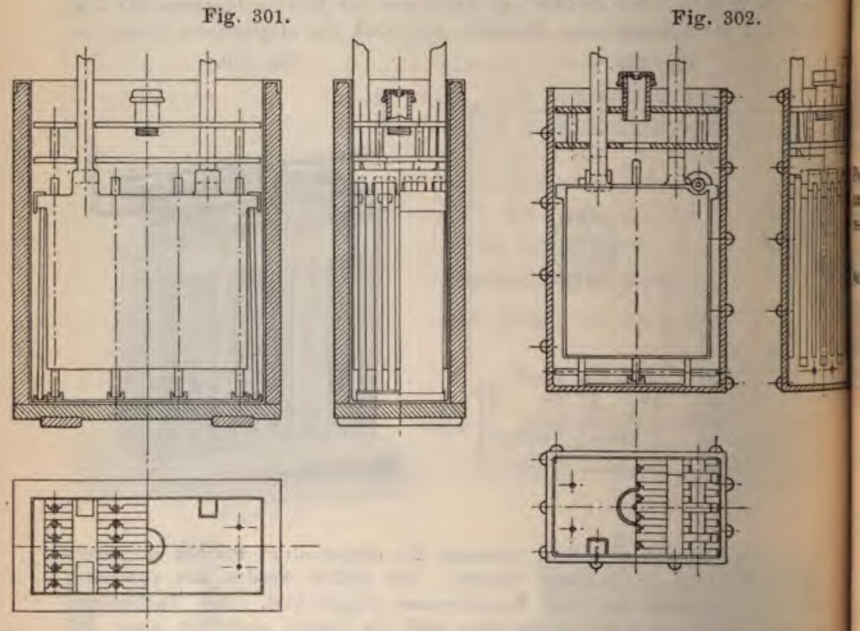
Fig. 300 zeigt eine fertig montierte Zelle mit Glasgefäfs.

2. Akkumulatoren der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft Berlin N.W. Fabrik Hagen i. W. Zur Anwendung für die Notbeleuchtung, den Betrieb der Telephone und Telegraphen, sowie für die

Funkentelegraphie auf Kriegs- und Handelsschiffen kommen zwei Typen, die sich lediglich durch die Art der Aufstellung unterscheiden. In den Elementen B. O. 80, deren Aufstellung in Fig. 301 dargestellt ist, ruhen die Platten auf seitlichen Glasstützscheiben und zur Isolation der Platten voneinander sind Glasrohre verwendet. Glasstützscheiben und Glasrohre ruhen auf dem Boden in besonderen Bleirinnen. In den Elementen Type G O 50 stehen die negativen (Fig. 302) Platten auf kammartigen Hartgummi-Isolatoren.

Die positiven Platten ruhen mittels eines starken Glasrohres, das durch entsprechende Ösen der Platten gesteckt ist, auf zugehörigen Aussparungen der negativen Platten. Die Zinken der Hartgummikämme bilden die isolierende Trennung zwischen den Plattenarten. Die Elemente sind mit leicht abnehmbaren Doppeldeckeln verschlossen. Die positive Platte hat Rippen-

Fig. 301. Fig. 302.



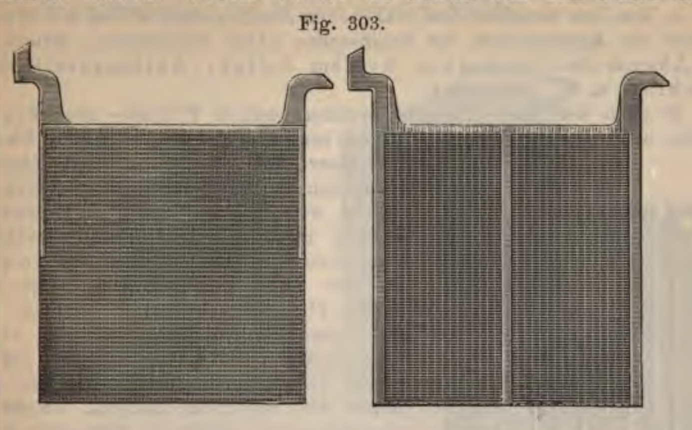
form und bestehet aus reinem Weichblei, die negative Platte ist ein Bleigitter, in welches die aktive Masse eingestrichen wird (Fig. 303).

Bei Aufstellung in Holzkästen mit Bleiausschlag haben die Elemente beider Typen ⌈-förmige Schutzleisten aus Hartgummi auf den gegen die Gefäſswand vorspringenden Nasen der Platten, um zu verhindern, daſs dieselben mit dem Bleimantel des Gefäſses in Berührung kommen. Eine derartige Berührung würde einen Kurzschluſs im Elemente verursachen. Die Höhe der Elemente ist so bemessen, daſs sie eine Neigung bis zu 40° erhalten können, ohne daſs die Flüssigkeit ausläuft. Die in Hartgummigefäſsen aufgestellten Elemente sind zu mehreren in einem Holzkasten vereinigt, der auſsen mit Ösen versehen ist. In diese Ösen passen Stöpsel von kleinen flexiblen Verbindungskabeln, die dazu dienen, die in den Kästen vereinigten Gruppen von Zellen miteinander zu verbinden.

Zwischen den Elementen in Holzgefäſsen mit Bleiausschlag oder zwischen den Elementenkästen, welche mehrere Zellen in Ebonitgefäſsen enthalten,

en kleine Porzellanisolatoren angeordnet, welche die einzelnen Kästen inander trennen. Ebenso werden die Kästen von dem Boden durch

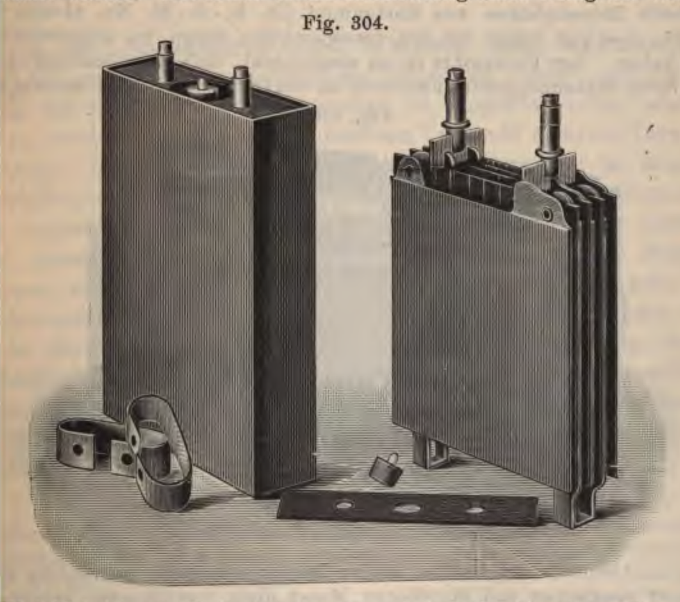
Fig. 303.



ellanisolatoren isoliert. Diese Isolatoren sind 10 mm stark, und ist dem- ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Elementen von 10 mm zu nen.

Die Elemente müssen in den ventilierbaren Batterieräumen fest verkeilt estellt werden. Der Boden erhält zweckmäfsig einen Belag aus Walzblei.

Fig. 304.



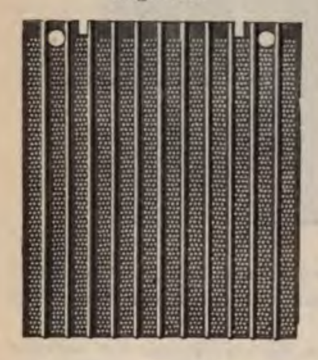
Walzblei ist am Ende umgebogen und bedeckt bis etwa 100 mm die nwände. Die Seitenwände sind mit einem säurebeständigen Anstrich, . Heisinglack, versehen. Die Batteriekasten werden in einem Gestell estellt und sind von diesem durch die oben erwähnten Porzellanisola- isoliert. Seitlich müssen die Elementkästen durch starke Holzleisten

so festgehalten werden, dafs ein Verrutschen der Kästen beim Schli
des Schiffes ausgeschlossen ist.

3. Von den verschiedenen praktischen Ausführungen wollen wir fern
Beispiel die Konstruktion der Schiffszellen näher beschreiben, welche
den Akkumulatorenwerken System Pollak, Aktiengesellsc
Frankfurt a. M., herstammt.

Je nach der Beanspruchung werden positive Pollak- oder Pla
Platten und negative Pollak-Platten benutzt, welche aus einem Ble
mit einer darauf elektrolytisch nied
schlagenen Bleischwammschicht bestehen.
Platten werden in Glas oder Hartgu
gefäfsen montiert, welche man gewöh
gruppenweise in tragbaren Holzkästen ein

Fig. 305.



Die Abbildung (Fig. 304) zeigt
fertigen Plattensatz und eine komplette
„E 2" dieser Fabrik. Die positiven Pla
stehen auf dem Boden des Gefäfses auf
tragen durch Vermittelung kräftiger
röhren die negativen Platten, welche
entsprechenden maschinell hergestellten
hängungs- und Leitungsstücken versehen
Kräftige Querstreifen und Bleibolzen die
zur Verbindung der gleichnamigen Elektro
untereinander, bezw. zur Ableitung des Strom
Zur Trennung der Platten voneinander dien
perforierte Rippenplatten aus Hartgummi (D. R.-G.-M. Nr. 64632) na
Fig. 305, wie sich solche bei den transportablen Zellen im allgemeinen b
währt haben. Der Plattensatz ist so eingerichtet, dafs er außerhalb des G
fäfses fertig zusammengebaut und dann als ein Ganzes eingesetzt werden kann

Fig. 306.



Zum Abschlufs der Gefäfse werden Hartgummideckel verwendet, we
mit einer plastischen und säurefesten Masse dicht verschlossen werden.
der Mitte des Deckels befindet sich eine runde Öffnung, durch welche
den Zustand der Platten und die Nachfüllflüssigkeit beobachten kann. Für
wöhnlich bleibt aber diese Öffnung durch einen Stopfen mit Entgaser si
verschlossen. Die Verbindung der Zellen untereinander geschieht d
biegsame Bleistreifen.

Fig. 306 zeigt einen fertigen tragbaren Batteriekasten mit vier Zellen, 5" (120 Ampèrestunden Kapazität bei 12 Amp. Entladestrom), wie solche die Wellentelegraphie auf Schiffen benutzt werden.

Fig. 307.



Die Fig. 307 zeigt eine Glaszelle mit dem zugehörigen tragbaren Holzsten. Diese Zellen werden für den Betrieb von Mikrophon- und Signalparaten, sowie für Notbeleuchtungsanlagen benutzt.

§ 83. Behandlung und Wartung der Akkumulatoren.

r Akkumulator soll, nachdem die Entladung erfolgt und die Spanng der Zelle auf 1,8 Volt gesunken ist, möglichst sofort wieder gelen werden, keinesfalls im entladenen Zustande mehrere Tage stehen iben. Die höchste Entladestromstärke darf, aufser in dringenden tfällen, nicht überschritten werden, da ein dauerndes Überschreiten r höchsten zulässigen Stromstärke ein Durchbiegen der Elektroden d damit eine vorzeitige Zerstörung der Zellen zur Folge hat. enso soll während der Ladung die höchste und für jede Zellenöfse vorgeschriebene Stromstärke nicht überschritten werden. Gegen de der Ladung mufs in allen Zellen Gasentwickelung eintreten; terbleibt dieselbe in einer der Zellen, so ist die Zelle sorgfältig zu tersuchen und etwaige Körper, welche eine leitende Verbindung wischen den Platten (Kurzschlufs) bilden, sind mittels schmaler Holzäbe herauszuholen oder niederzustofsen.

In allen Fällen äufsert sich der Kurzschlufs dadurch, dafs das beeffende Element nicht gleichzeitig mit den übrigen zur Gasentwickelung mmt, und die Säure ein entsprechend geringeres spezifisches Gewicht hat. r Kurzschlufs kann entstehen

1. durch direkte Berührung zweier benachbarter Platten;
2. durch stromleitende Stoffe, Bleischlamm, Bleioxyd, die sich zwischen n Platten festsetzen,
3. durch direkte oder indirekte Berührung der Platten mit dem Bleintel des Holzkastens.

Bei gröfseren Störungen mufs die Zelle sofort aus dem Verbande mit den übrigen gelöst und sorgfältig ausgebessert werden, ehe sie wieder eingeschaltet wird. Zum Untersuchen der Zellen eignet sich besonders eine Glühlampe mit gutem Reflektor, womit man die Zelle von oben bis auf den Grund durchleuchten kann. Bei Glasgefäfsen ist die Besichtigung leichter auszuführen. Ein Voltmeter, das bis etwa 3 oder 4 Volt anzeigt, ist ferner sehr geeignet für die Untersuchung der Zellen.

Die erste Ladung der Batterie mufs 15 Stunden lang mit der vollen vorgeschriebenen Ladestromstärke ohne Unterbrechung erfolgen. Die Batterie bleibt dann etwa eine Stunde lang stehen, ohne dafs sie geladen oder entladen wird. Sodann wird wiederum mit voller Stromstärke bis zur lebhaften Gasentwickelung geladen, und sodann wird die Batterie wiederum einer Ruhepause, wie vorher, überlassen, dann folgen weitere Ladungen mit Ruhepausen so lange, bis die Batterie beim Einschalten zur Ladung sofort eine kräftige Gasentwickelung zeigt.

Das spezifische Gewicht der Säure soll in allen zu einer Batterie miteinander vereinigten Zellen gleich sein. Zur Füllung darf nur reine verdünnte Schwefelsäure verwendet werden, welche frei ist von Chlor, Arsen und Salpetersäure und das spezifische Gewicht 1,17 hat.

Zur Prüfung auf etwa vorhandenes Chlor wird der verdünnten Schwefelsäure etwas in Wasser gelöstes salpetersaures Silber zugesetzt. Die Bildung eines weifsen Niederschlages von Chlorsilber, $AgCl$, würde das Vorhandensein von Chlor nachweisen. Das an Chlor reiche Seewasser darf unter keinen Umständen in die Zellen gelangen.

Die reine Schwefelsäure wird mit destilliertem Wasser verdünnt und zwar dadurch, dafs die Schwefelsäure langsam und unter Umrühren mit einem Glasstabe in destilliertes Wasser gegossen wird. In allen Zellen mufs die verdünnte Säure etwa 1 cm oberhalb des oberen Plattenrandes stehen. Bei vollständig geladener Batterie soll das spezifische Gewicht der Säure nicht unter 1,17 und nicht über 1,19 betragen. Verdunstet die Füllung, so sind Abweichungen von dem vorgeschriebenen Werte der Säuredichte auszugleichen und zwar, wenn das spezifische Gewicht der Säure zu grofs ist, durch Nachfüllen destillierten Wassers, oder wenn das spezifische Gewicht zu klein ist, durch Nachfüllen mit reiner verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,05 oder mehr.

Die Akkumulatoren sollen in kühlen, trockenen und nicht zu engen Räumen aufgestellt werden. Wegen der bei der Gasentwickelung mitgerissenen Säureteilchen mufs eine genügende Ventilation vorhanden sein. Die Akkumulatoren werden dabei in Reihen nebeneinander aufgestellt und zwar so, dafs die Reihe am besten von beiden Seiten zugänglich ist. Auch kann man bei beschränktem Raume und leichten Zellen zwei Reihen übereinander anordnen. Die Gestelle für die an Land aufgestellten Akkumulatorenbatterieen sind aus Holzbalken

nstruiert, die mit Teer heifs angestrichen werden. Die Zellen llen möglichst gut gegen den Erdboden isoliert sein, und jede Zelle eht daher auf isolierenden Füfsen aus Glas oder Porzellan. Die ifse bestehen aus zwei Teilen, der untere hat eine kreisförmige Rinne, e mit Öl ausgefüllt wird. Über die Aufstellung der Batterie an ord der Kriegs- und Handelsschiffe siehe S. 229.

§ 84. Regulierung der Stromstärke bei der Ladung und ei der Entladung. Während der Ladung steigt die E.M.K. des kkumulators an. Wird also zum Laden eine Nebenschlufs- oder mpounddynamo mit konstanter Polklemmenspannung verwendet oder schieht die Ladung durch Anschlufs an die Lichtleitung, so mufs r Ladestrom allmählich in dem Mafse abnehmen, wie die Gegen-M.K. des Akkumulators zunimmt.

Ist die Betriebsspannung der Akkumulatorenbatterie gleich der-aigen der Dynamo, so verwendet man meistens Nebenschlufsmaschinen r Ladung, bei denen durch Einwirkung auf den Nebenschlufs-gulator die Spannung entsprechend der Gegen-E.M.K. des Akku-ulators erhöht werden kann. Bei einer Batterie mit 110 Volt Span-ng, welche also $\frac{110}{1,8} = 62$ Zellen in Reihenschaltung enthält, mufs e Polklemmenspannung der Dynamo auf $62 . 2,6 \cong 162$ Volt im Verlaufe r Ladung erhöht werden können. Würde aus irgend einem Grunde e Dynamo ihre Tourenzahl vermindern, so würde „Rückstrom" aus m Akkumulator in die Dynamo gelangen, welche als Motor dann iterlaufen würde. Dabei würde aber der Strom in der Nebenschlufs-ckelung seine Richtung behalten, so dafs die Pole der Dynamo nicht wechselt werden (siehe § 52). Dieser Rückstrom soll jedoch bei iem in der Leitung eingeschalteten Minimumausschalter nicht zu-nde kommen.

Ist die Klemmenspannung des Akkumulators erheblich kleiner die der Dynamo oder als die Spannungsdifferenz zwischen den hienen des Hauptschaltbrettes, so wird nach Fig. 299 in der Zu-tung beim Laden ein regulierbarer Widerstand eingeschaltet, welcher dem Mafse verringert wird, wie die E.M.K. des Akkumulators an-igt, damit der Ladestrom konstant bleibt. In diesem Regulier-derstande entsteht freilich ein nicht unerheblicher Verlust an Energie, r um so gröfser ist, je gröfser der in ihm verbrauchte überschüssige il der Spannung und je gröfser die Stromstärke ist.

Im Laufe der Entladung sinkt die E.M.K. und damit auch die lklemmenspannung der Zelle. Soll also die Entladestromstärke nstant bleiben, so bieten sich zwei Mittel:

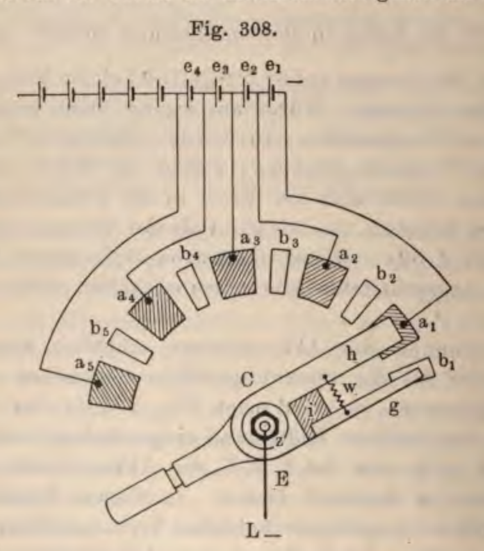
1. Man reguliert bei unveränderlicher Zahl der Zellen die Strom-rke durch einen veränderlichen Widerstand in der Verbrauchs-tung, oder

2. man verändert die Zahl der zur Entladung benutzten Zellen. Ist die Klemmenspannung der Zelle noch 2,2 Volt, so sind für die Betriebsspannung 65 Volt nur $^{65}/_{2,2} = 30$ Zellen, ist dagegen die Spannung der Zelle auf den Endwert 1,8 Volt gesunken, so sind $^{65}/_{1,8} = 36$ Zellen erforderlich. In dem Maſse also wie die Spannung der Zellen heruntersinkt, werden die sechs Zellen nacheinander zugeschaltet. Dies geschieht mit dem Zellenschalter. Diese Regulierung der Spannung bezw. des Stromes hat den Vorteil gegen die vorige, daſs kein Energieverlust stattfindet.

Diejenigen Zellen aber, welche zuletzt zur Stromlieferung herangezogen sind, werden weniger entladen sein, als die von Anfang der Entladung an eingeschalteten; sie werden daher auch bei der folgenden Ladung eher geladen sein und werden vorteilhaft aus dem Ladestromkreise ausgeschaltet, damit nicht unnötig elektrische Energie verbraucht wird.

Einrichtung der Zellenschalter (Fig. 308). Der Messingkontakt a_1 ist mit dem negativen Pol der ganzen Batterie verbunden, a_2 mit demjenigen der vorletzten Zelle u. s. w. Die Kontaktstücke a_1, a_2, a_3 u. s. w. sind bei kleinen Zellenschaltern für geringe Stromstärken meist im Kreise angeordnet, bei gröſseren dagegen in gerader Linie. Vom positiven Pole der Batterie, sowie von der Kurbel des Zellenschalters gehen die nach den Lampen führenden Leitungen aus, deren Spannungsdifferenz reguliert werden soll. Zwischen je zwei Kontakten a liegt ein Zwischenkontakt aus Isoliermaterial.

Fig. 308.



Würden die Kontakte a unmittelbar nebeneinander liegen, so daſs beim Abschalten einer Zelle der Schleifkontakt der Kurbel in einem Augenblicke zwei nebeneinander liegende Kontaktstücke a berühren würde, so wäre die zwischen diesen Kontaktstücken liegende Zelle kurz geschlossen und würde sich mit einer abnorm hohen Stromstärke entladen, die dem Elemente schadet und beim Weiterdrehen der Kurbel unterbrochen werden muſs, wodurch Verbrennungen und Schmelzungen an den Kontaktstücken entstehen. Die Kurbel enthält daher zwei durch das Isoliermaterial i voneinander getrennte Schleifkontakte h und g. Wird die Zelle e_1 abgeschaltet, so bewegt sich zuerst h auf b_2, dann auf a_2, während g noch auf a_1 liegt, und die Zelle e_1 durch den Widerstand w, der zwischen den Schleifkontakten h und g fest eingeschaltet ist, geschlossen wird. w ist so bemessen, daſs die Zelle sich nur mit der höchsten zulässigen Stromstärke entladen kann. Liegt h auf b_2, so ge-

Strom aus der Lichtleitung $L-$ über w, dann durch g nach a_1. Im chsten Augenblick wird aber h völlig auf a_2 liegen und g auf b_2. Wäh-

Fig. 309.



nd des Zu- und Abschaltens der Zellen wird also der Strom in der Lichttung nicht unterbrochen, und ferner wird die betreffende Zelle auch nicht ırz geschlossen.

In Fig. 309 ist ein Einfachzellenschalter zur Regulierung der Spannung der Entladeleitung dargestellt, der von Voigt und Häffner in Bockenim hergestellt wird und für 50 Amp. gebaut ist.

Fig. 310.



Beim Doppelzellenschalter, durch den während der Ladung die bereits adenen Zellen nacheinander abgeschaltet werden können, während zugleich

die Spannung der vom Akkumulator gespeisten Lichtleitung reguliert werden kann, haben wir zwei drehbare Kurbeln, die eine für die Ladung, die andere zur Entladung. Beide Kurbeln bewegen sich auf derselben Reihe von Kontaktstücken *a*.

Fig. 310 stellt einen Doppelzellenschalter für 50 Amp. der Firma Voigt und Häffner in Bockenheim dar.

§ 85. Vorteile der Akkumulatoren in Beleuchtungsanlagen. In den Beleuchtungsanlagen an Land wird durch Einschalten der Akkumulatorenbatterie die Ausnutzung der Maschinen wirtschaftlicher und der Betrieb sicherer. Dabei wird am Tage, wenn überschüssige Betriebskraft vorhanden ist, durch die Dynamo der Akkumulator geladen, während zur Zeit des Hauptstrombedarfes, wo die vorhandene Betriebskraft nicht ausreicht, Dynamo und Akkumulator parallel geschaltet sind und Strom in die Lichtleitung liefern. Nehmen wir an, dafs die Stromlieferung zu dieser Zeit gleichmäfsig auf beide verteilt ist, so braucht die Dynamo nur die halbe Stromstärke zu liefern, wie bei reinem Maschinenbetriebe. Die Dynamo wird aufser Betrieb gesetzt, und der Akkumulator allein übernimmt die Stromlieferung, wenn der Stromverbrauch auf einen geringen Betrag gesunken ist, in den späten Abendstunden oder nachts, wo nur wenige Lampen eingeschaltet sind. Während des Maschinenbetriebes kann also die Dynamo mit voller Belastung und also mit höchstem Wirkungsgrade arbeiten. Durch den Akkumulator ist zugleich eine vorzügliche Reserve vorhanden, wenn an der Dynamo ein Schaden entsteht, indem der Akkumulator für eine bestimmte Zeit bis zu einer gewissen, durch die Kapazität vorgeschriebenen Grenze, die Stromlieferung übernehmen kann.

Auch zur Ausnutzung einer konstanten Betriebskraft, z. B. einer Wasserkraft, kann der Akkumulator dienen, indem in den Stunden, wo der Werkbetrieb ruht, die Energie in den Akkumulatoren aufgespeichert wird.

Besonders auch zur Regulierung für konstante Spannung eignen sich die Akkumulatoren, wenn die Tourenzahl der Dynamo bezw. der Betriebsmaschine in rascher Folge auf und ab schwankt. In diesem Falle wird zur Dämpfung der Schwankungen eine kleine Akkumulatoren-(Puffer-)batterie der Dynamo parallel geschaltet.

Auch kann der Akkumulator als Gleichstromtransformator dienen, wenn die Batterie mit der Betriebsspannung 100 bis 110 Volt geladen wird, bei der Entladung aber kleinere Gruppen von Zellen, z. B. zum Betriebe der Telephone und Telegraphen an Bord, verwendet werden (siehe Abschnitt VI).

Auch hier kann er eine wichtige Reserve bei dem Betriebe der Positionslaternen und der Notbeleuchtung bilden, wenn durch Schaden an der Dynamo die Stromlieferung gestört wird.

Den Vorteilen des Akkumulators stehen die Nachteile gegenüber: 1. die hohen Anschaffungskosten der Akkumulatoren, 2. der Verlust an elektrischer Energie (siehe S. 226) durch die zweimalige Umwandlung beim Laden und Entladen, 3. die Vermehrung der Apparate am Schaltbrett und die Komplizierung des ganzen Betriebes. Dazu bietet das Aufstellen der Zellen an Bord, sowie besonders die Isolation derselben meistens nicht unerhebliche Schwierigkeiten.

Fünfter Abschnitt.

Elektrische Beleuchtung.

Zehntes Kapitel.

Die elektrischen Lampen.

A. Glühlampen.

§ 86. Einrichtung und Wirkungsweise der Glühlampen. ie Glühlampe enthält in einer luftleeren Glasbirne einen Kohlenfaden, r durch Verkohlen eines Fadens aus reiner Cellulose oder aus Kollo- um hergestellt wird, das durch Auflösen von Schiefsbaumwolle in ner Mischung von Alkohol und Äther zu gleichen Teilen erhalten rd.

Nachdem der auf Graphitblöcken in Hufeisen- oder Schlingenform auf- wickelte Faden unter Luftabschlufs in Graphitschmelztiegeln bei hoher mperatur verkohlt ist, wird der Faden präpariert, d. h. in gasförmigen hlenwasserstoffen (Leuchtgas) geglüht, wobei sich reiner Kohlenstoff auf n Faden niederschlägt. Durch diese Behandlung wird einerseits ein gleich- fsiger elektrischer Widerstand erreicht, andererseits wird durch Ver- fserung des Querschnittes die lichtausstrahlende Fadenoberfläche vermehrt, ch wird der Faden widerstandsfähiger gegen das Zerstäuben. Zur Leitung Stromes durch die Glaswand dienen kurze, im Glase eingeschmolzene ähte aus Platin, das annähernd denselben Ausdehnungskoeffizienten wie s hat. Die Verbindung dieser Platindrähte einerseits mit dem Kohlen- en, andererseits mit dem Sockel der Lampe geschieht durch Neusilber- hte und Kupferdrähte. Der Kohlenfaden wurde früher an die Drähte rch einen leitenden metallischen Kitt befestigt, jetzt geschieht die Ver- dung durch den aus kohlenwasserstoffreichen Flüssigkeiten, wie Benzol, uol u. s. w., durch Kurzschliefsen eines elektrischen Stromes nieder- chlagenen Kohlenstoff.

Die Luft wird aus den Glasbirnen entweder durch Quecksilberluftpumpen r mechanische Luftpumpen entfernt, neuerdings auch durch ein chemisches fahren unter Anwendung von Phosphor. Während des Auspumpens akuierens) mufs der Faden glühend gemacht werden, damit die in der le verdichtete Luft, insbesondere der Sauerstoff, ausgetrieben wird.

Die Glühlampen leuchten, mit Wechselstrom von 50 Perioden in Sekunde gespeist, ebenso gleichmäfsig, wie wenn ein Gleichstrom

durch den Kohlenfaden fliefst, da die Temperatur den sehr schn
Änderungen der Stärke des Wechselstromes nicht folgen kann.

§ 87. Lampensockel und Lampenfassung. Der Lam
sockel besteht aus zwei voneinander isolierten, meist in Gips
gelegten metallischen Kontaktstücken, welche mit den beiden E
des Kohlenfadens in leitender Verbindung stehen. Die Lampenfas
dient zur Aufnahme des Lampensockels und zur Zu- und Ablei
des Stromes.

Wir unterscheiden:

1. Edisonfassung. Bei dieser enthält der äufsere Ring des Lam
sockels ein schwach ansteigendes Gewinde mit abgerundeten Kanten;

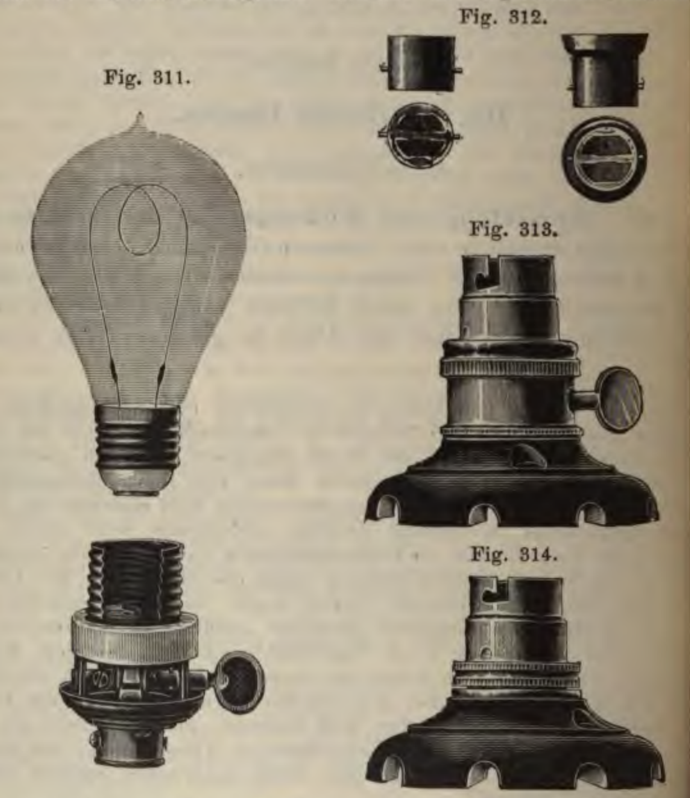

Fig. 312.

Fig. 311.

Fig. 313.

Fig. 314.

Endfläche des Lampensockels enthält eine ebene, kreisrunde Platte
zweites Verbindungsglied mit dem Stromkreise.

In Fig. 311 ist eine A. E. G.-Universalfassung mit Normal-Ed
Gewinde mit Hahn zum Ein- und Ausschalten an der Fassung und
Spannungen bis 250 Volt dargestellt.

Bei den Edisonfassungen lockert sich bei Erschütterungen der Lam
sockel leicht in der Fassung, wodurch eine starke Erwärmung der Lam
fassung eintritt, weshalb für die elektrischen Anlagen an Bord

2. die Swanfassungen (Fig. 312 bis 314) bevorzugt werden. Bei diesen ind in dem Lampensockel zwei gleich beschaffene, in Gips eingelegte Kontakttücke vorhanden, welche gegen zwei federnde Stifte der Fassung gedrückt verden. Der Lampensockel vird durch einen Bajonetterschlufs in der mit oder hne Hahn versehenen Fasung festgehalten.


Fig. 315. Fig. 316.

Bei horizontal oder schräg iegendem Kohlenfaden, der nit der Zeit sich gegen die laswand neigt, kann die ampe mit Swanfassung um 80° gedreht eingesetzt weren, was bei der Edisonfassung neistens unmöglich ist.

Dies Umschalten der Lampe ist auch ausführbar bei der Siemensassung (Fig. 315 u. 316), wo zwei schwalbenschwanzförmige Kontaktbleche orhanden sind.

Daneben gibt es noch zahlreiche andere Fassungen, die jedoch auf den chiffen wenig Verbreitung gefunden haben.

§ 88. Lichtstärke und Messung derselben. Sollen die ach dem Verkohlen erhaltenen Fäden für Lampen benutzt werden, ie bei einer bestimmten Spannung eine im voraus bestimmte Lichtärke haben, so dürfen für jede Lampensorte nur Kohlenfäden von estimmtem elektrischen Widerstand verendet werden. Eine Glühlampe mit der ichtstärke von 16 Normalkerzen, die m Betriebe eine Spannung von 110 Volt rdert, verbraucht ungefähr den Strom ,5 Amp., der Kohlenfaden der Lampe t also so ausgewählt, dafs er im weifsühenden Zustande einen Widerstand $\frac{10}{,5} = 220\ \Omega$ leistet.


Fig. 317.

Die Glühlampen werden in der Regel r die Lichtstärken 5, 10, 16, 25, 32, Normalkerzen hergestellt. Bei Lampen r hohe Kerzenstärke bis 150 N.K. erhält r Kohlenfaden noch die gewöhnliche orm, für Lampen mit noch höherer erzenstärke mufs der lange Bügel (Fig. 7) an einer oder mehreren Stellen durch atinösen gestützt werden. Für hohe Kerzenstärken erreicht man ld eine Grenze in der Länge des Kohlenfadens und in der Gröfse der asbirne, weil wegen des dünnen Glases die Festigkeit zu gering wird.

Die Lichtstärke der elektrischen Lampen wird durch die Lichtrke der Normalkerze gemessen. Bei der Messung der Licht-

stärke (Photometrie) wird als Einheit die Lichtstärke der von v. H
Alteneck vorgeschlagenen Lampe zu Grunde gelegt. Diese
hat einen Docht, der mit reinem Amylacetat getränkt ist u
einem Neusilberröhrchen von 8 mm lichter Weite herausragt.
Flammenhöhe beträgt 40 mm.

Zur Vergleichung der Lichtstärke einer leuchtenden Flamm
einer Glühlampe mit der Lichtstärke der Normalkerze die
Photometer. In den meisten Photometern beobachtet man m
Auge die Helligkeit zweier nebeneinander liegender Flächen
denen die eine von der zu untersuchenden Lichtquelle, die ande
der Normalkerze beleuchtet wird. Die Abstände der beiden
quellen von den Flächen werden dann so gewählt, dafs beide F
gleich hell erscheinen. Die Lichtstärken der beiden Lichtquell
halten sich wie die Quadrate der Entfernungen derselben v
beobachteten Fläche. In der Einrichtung am einfachsten i
Fettfleckphotometer von Bunsen.

§ 89. Glühlampen für verschiedene Spannungen. Die
lampen werden für die in § 88 angegebenen Kerzenstärken m
für die sehr gebräuchliche Betriebsspannung 110 Volt hergestell
dann in Parallelschaltung (vergl. S. 24
trieben. Nicht so häufig sind die A
dieser Art mit 65 und 70 Volt Betriebsspan

Fig. 318.



Seltener werden Glühlampen für Reihen
tung gebraucht mit den Spannungen 5, 1
25 Volt. Lampen dieser Art verbrauchen 6,
10 Amp. Eine Glühlampe von Siemens
Halske, A.-G., für Serienschaltung ist in F
dargestellt.

Neuerdings werden auch Glühlampen fü
bis 220 Volt mit sehr feinem Kohlenfaden
stellt, eventuell enthalten diese Lampen zw
Reihe geschaltete Kohlenfäden, von denen jed
Spannung 110 Volt verbraucht.

In Nachfolgendem ist eine Zusammen
lung der von Siemens und Halske, A
Berlin, gelieferten Glühlampen gegeben.

a) Gebräuchlichste Glühlampen für Spannungen bis 160 Volt
5, 10, 16, 25 und 32 Kerzen.

Lichtstärke N.K.	Spannung Volt	Stromstärke Amp.	Lichtstärke N.K.	Spannung Volt	Stromst Amp
5	110	0,16	25	65	1,35
10	65	0.54	25	110	0,80
10	110	0,32	32	65	1,72
16	65	0,86	32	110	1,02
16	110	0,51			

Der normale spezifische Verbrauch, d. h. der Wattverbrauch pro N.K. beträgt 3,5 Watt. Dieselben Lampen werden auch für einen geringeren spezifischen Verbrauch von $2^1/_2$ Watt und 2 Watt hergestellt.

b) Glühlampen für Spannungen 180 bis 250 Volt von 5, 10, 16, 25, 32, 50 und 100 Kerzen:

Lichtstärke in N.K.	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.	Wattverbrauch pro N.K.
5	200	0,12	5
10	220	0,18	4
16	220	0,25	3,5
25	220	0,4	3,5
32	220	0,5	3,5
50	220	0,8	3,5
100	220	1,6	3,5

Lampen von 25, 32, 50 und 100 Kerzen werden auch für den spezifischen Verbrauch 3 Watt hergestellt.

c) Glühlampen für Spannungen bis 160 Volt und von 50, 65, 100, 200, 300 und 400 Kerzen.

Lichtstärke in N.K.	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.	Lichtstärke in N.K.	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.
50	10	15	100	65	4,6
50	65	2,3	100	110	2,7
50	110	1,36	200	110	5,5
100	20	15	400	110	10,9

Der normale Wattverbrauch pro N.K. beträgt 2,5 bis 3 Watt. Die vorstehenden Tabellen enthalten nur einige ausgewählte Lampen, darunter auch die gebräuchlichsten.

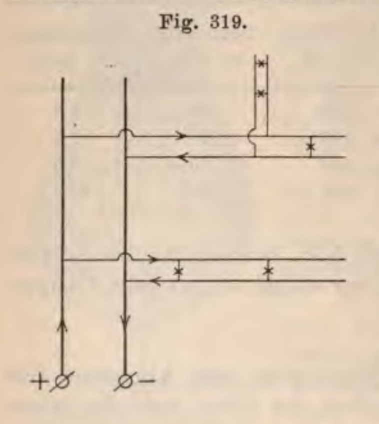
§ 90. Lebensdauer der Glühlampen und Abnahme der Leuchtkraft. Infolge des Verdampfens der Kohle wird die innere Glaswand der Birne schwarz und läfst weniger Licht durch. Zugleich wird der Querschnitt des Kohlenfadens geringer und der Widerstand desselben gröfser. Bleibt die Betriebsspannung der Lampe konstant, so wird also die Stromstärke im Kohlenfaden und damit auch die Leuchtkraft desselben abnehmen. Die Lebensdauer der Glühlampe ist also begrenzt und hängt sehr ab von der Qualität des Kohlenfadens, von dem Vakuum und von dem spezifischen Verbrauch an elektrischer Energie in der Lampe, d. h. von dem Energieverbrauch

derselben pro N.K. Bei den meisten gebräuchlichen Lampen beträgt der spezifische Verbrauch 3,3 bis 3,4 Watt. Im allgemeinen haben die Lampen mit höherem spezifischen Verbrauch eine längere Lebensdauer, als die Lampen derselben Art mit geringerem spezifischen Verbrauch. In vielen Fällen wird die Lampe nur so lange gebraucht, bis ihre Lichtstärke um etwa 20 Proz. des Anfangswertes gesunken ist. Sieht man von der Forderung einer möglichst gleichmäſsigen Beleuchtung ab, so können Glühlampen 800 Brennstunden und weit mehr im Betriebe sein. Im allgemeinen nimmt auch bei konstanter Spannung nach 600 Brennstunden die Leuchtkraft merklich ab.

Für jede Lampe ist eine normale Spannung vorgeschrieben, die meist am Lampensockel oder an der Birne selbst angegeben ist. Der Betrieb mit einer gröſseren Spannung als der normalen liefert eine gröſsere Lichtstärke, und dabei freilich arbeitet die Lampe ökonomischer. Die Glühlampen sind überhaupt gegen Spannungsänderungen sehr empfindlich, indem eine Vergröſserung der normalen Betriebsspannung um 1 Proz. eine Erhöhung der Leuchtkraft um 6 bis 7 Proz. ergibt. Dem Vorteile der gröſseren Ökonomie steht freilich der Nachteil einer sehr reduzierten Lebensdauer und einer raschen Abnahme der ursprünglichen Lichtstärke entgegen.

Häufig wiederkehrende Spannungschwankungen bedingen eine Abkürzung der Lebensdauer und zwar um so mehr, je höher die Lampe beansprucht wird. Dagegen bedingen die rasch aufeinander folgenden Oscillationen des gebräuchlichen Wechselstromes, sofern nur die effektive Stärke desselben unverändert bleibt, keine kürzere Lebensdauer als bei dem Betriebe mit Gleichstrom.

Fig. 319.



§ 91. Schaltung der Glühlampen.

Am gebräuchlichsten und an Bord fast ausschlieſslich in Anwendung ist die Parallelschaltung der Lampen. In diesem Falle haben wir den auf S. 90 besprochenen Betrieb mit konstanter Spannung. Fig. 319.

Die Leitungsquerschnitte sind derartig ausgewählt, daſs bei Einschaltung aller Lampen der Spannungsverlust in der Hin- und Rückleitung von der Dynamo D bis zur entferntesten Lampe zusammen nur 2 bis 4 Proz. der Betriebsspannung (Netzspannung) beträgt. Sämtliche Lampen werden also nahezu mit der gleichen Spannungsdifferenz betrie

§ 92. Neuere Glühlampen.

1. Nernst-Lampe (Fig. 321). dieser wird als Glühfaden ein Körper verwendet, der bei gewöhnlicher T…

atur den Strom nicht leitet, jedoch bei höherer Temperatur zum Strom-
er wird. Ein Stäbchen aus Magnesium- oder Calciumoxyd ist bei ge-
nlicher Temperatur ein sehr schlechter Leiter, mit der Flamme eines
nsenbrenners kurze Zeit lang erhitzt, wird es zum Leiter eines Stromes,

Fig. 320.



Fig. 321.



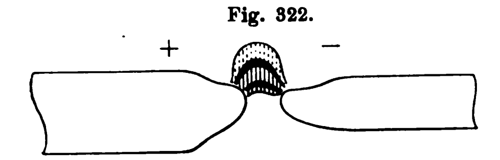
cher das Stäbchen in Weifsglut
ält, wenn die Spannungsdifferenz
schen den Enden des Stäbchens
reichend hoch ist. Fig. 320 zeigt
Brenner der Nernst-Lampe
l Fig. 321 die Lampe mit Bajonett-
sung, wie dieselbe von der Allge-
inen Elektrizitätsgesellschaft, Ber-
geliefert wird. Als Vorrichtung
n Anwärmen bei automatischer
ndung der Lampe dient ein sehr
ner Platindraht, der auf eine,
Glühfaden spiralförmig in ge-
gem Abstande umgebende, Por-
lanmasse als Träger gewickelt
Beim Einschalten der Lampe
fst zunächst nur der Strom durch
Platindraht, der rotglühend wird
l den Glühfaden erhitzt. Wenn
letztere genügend angewärmt
übernimmt er allein die Leitung
Stromes und sendet ein blendend weifses Licht aus. Das Umschalten des
omes erfolgt durch einen kleinen, im Lampensockel liegenden Magneten
lais). Der Glühfaden mit Heizspirale befindet sich in einer Hülle aus
s und im lufterfüllten Raume. Die Nernst-Lampen sind für die bei
gewöhnlichen Kohlenfadenlampen gebräuchlichen Spannungen hergestellt;
spezifische Verbrauch ist geringer als bei den Kohlenfadenlampen und
rägt etwa 1,8 Watt pro N.K. Die mittlere Lebensdauer beträgt ungefähr
Brennstunden, nach welcher Zeit die Abnahme der Lichtstärke etwa
Proz. des Anfangswertes beträgt.

2. Auersche Osmiumlampe. In einer luftleeren Glasbirne wird an
le des Kohlenfadens ein feiner Draht aus Osmium eingeschaltet, das bis
t als unschmelzbar gilt. Die Lampen sollen für eine Spannung von
Volt hergerichtet sein. Bei der schwierigen Gewinnung des Osmiums
die Lampe zunächst wenig Aussicht auf gröfsere Verbreitung.

B. Bogenlampen.

§ 93. Die Entstehung des Lichtbogens. Werden zwei Kohlenstäbe mit den Polklemmen einer Stromquelle von hinreichender Spannung verbunden und dann mit den zugespitzten Endflächen zur Berührung gebracht, so findet infolge des grofsen Widerstandes an der Berührungsstelle der Kohlen eine so grofse Erwärmung statt, dafs die Kohlenspitzen zu glühen anfangen. Werden die Kohlenstäbe dann auf einen Abstand von einigen Millimeter auseinander gezogen, so wird der Strom nicht unterbrochen, sondern bei genügender Spannungsdifferenz bilden die verdampfenden Kohleteilchen einen Leiter. Die Kohlespitzen geraten dabei in Weifsglut, und zwischen ihnen bildet sich eine leuchtende Flamme.

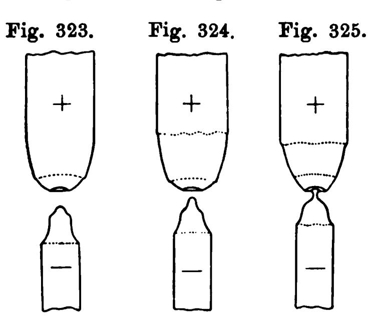
Fig. 322.



Davy (1808) hat zuerst den Lichtbogen bei zwei horizontal gestellten Kohlenstäben bis zu einer Länge von 16 cm beobachtet. Bei dieser Anordnung wird die Flamme durch einen infolge der Erhitzung aufsteigenden Luftstrom nach oben durchgebogen (Davys Lichtbogen, Fig. 322). Da heute in fast allen Bogenlampen die Kohlenstäbe vertikal gestellt werden, so kann von einem eigentlichen „Lichtbogen“ nicht mehr gesprochen werden.

§ 94. Der Gleichstromlichtbogen. Verwendet man Gleichstrom, so wird die mit dem positiven Pole verbundene Kohle — die positive Kohle — rascher verbraucht, als die negative; der Verbrauch der positiven Kohle zu dem der negativen verhält sich ungefähr wie 2 : 1. An der Endfläche der positiven Kohle bildet sich eine kraterförmige Aushöhlung, die am stärksten leuchtet und die höchste Temperatur (3500° C.) hat. Von diesem glühenden Krater rühren etwa 85 Proz. des ausgesandten Lichtes her. Der Lichtbogen selbst sendet nur ungefähr 5 Proz. der gesamten Strahlung aus. Die negative Kohle spitzt sich zu und hat ungefähr die Temperatur 2500° C., von ihr rühren etwa 15 Proz. der gesamten Strahlung her.

Fig. 323. Fig. 324. Fig. 325.

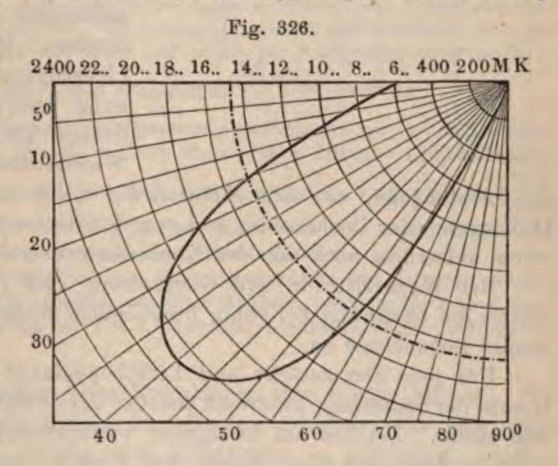


In den Gleichstrombogenlampen verwendet man als positive Elektrode die Dochtkohle. Die in Handel gebrachten Kohlen bestehen aus einer unter Luftabschlufs gebrannten Mischung von Graphit, und Teer. Die Dochtmasse im zentralen Teile der + -Kohle b[illegible]

ıs Graphit und Wasserglas. Bei normaler Spannung nimmt das nde der negativen Elektrode die Gestalt eines kleinen, oben schwach gerundeten Kegels (Fig. 324) an, der sich auf einer gröſseren Grundäche befindet. Bei zu geringer Spannung endet die negative Kohle it einer dünnen Spitze, die sogar eine kleine Halbkugel, den sonannten „Pilz" (Fig. 325) tragen kann, der zuweilen in die obere -Kohle einbrennt und dann zu einem zischenden Geräusche des ichtbogens Veranlassung gibt. Ist die Spannung dagegen zu groſs, rundet sich der Kegel an dem Ende der negativen Kohle immer ehr ab (Fig. 323).

Bei senkrecht stehenden Kohlen ändert sich die Lichtausstrahlung mit r Richtung derselben. Fig. 326 gibt die Kurve der Strahlung des Lichtgens einer Gleichstrombogenlampe von der Bogenlampenfabrik Körting nd Mathiesen in eutzsch-Leipzig für 2 Ampère und 43 Volt wischen den Kohleektroden, von denen e +-Kohle 20 mm, e —-Kohle 13 mm urchmesser hat. Das aximum der Lichtrahlung liegt hier wa bei einem Winkel n 40° unter der durch n Lichtbogen geleg- n horizontalen Ebene. ie in Fig. 326 darstellte Kurve ist ein rtikaler Schnitt durch e rings um die Kohn gelegte Rotationsche, indem in allen rch die Kohlen gelegten Vertikalebenen dieselbe Verteilung der Strahlung ttfindet. Im ganzen hat die Kurve der Lichtstärke des nackten Lichtgens nur geringes praktisches Interesse, da selten der Lichtbogen nackt er mit Klarglasglocke verwendet wird, sondern meist mit einer Glocke aus ttem Glase (Opal- oder Alabasterglas), wobei infolge der starken Zerstreuung r Strahlen die Lichtverteilung wesentlich anders als in Fig. 326 wird.

Fig. 326.



Bei der gewöhnlichen Anordnung der Kohlen (+-Kohle oben) gnet sich die Gleichstrombogenlampe besonders zur Bodenbeleuchtung.

§ 95. Der Wechselstromlichtbogen. Verwendet man Wechselrom zur Erzeugung des Lichtbogens, so flachen sich beide Kohlenbe an ihren Enden ab und zeigen an denselben kleine Krater ig. 327). Auch hier treten bei zu geringer Spannung und zu kurzem gen pilzförmige Bildungen an beiden Kohlen auf, die auch bei norler Spannung von schlechter Kohle herrühren können. Im allmeinen ist der Abbrand an beiden Kohlen gleichmäſsig; beide Kohle-

elektroden haben daher die gleiche Stärke und sind Dochtkohlen. Der Docht soll die Kraterbildung begünstigen.

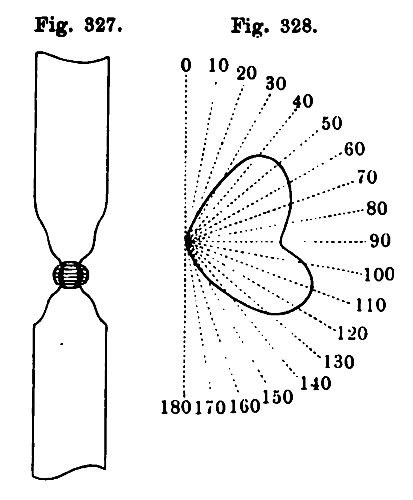


Fig. 327. Fig. 328.

Bei senkrecht stehenden Kohlen wird nach oben und unten gleich viel Licht ausgestrahlt. Die Kurve, welche die Lichtverteilung in einer durch die Kohlen gelegten Vertikalebene darstellt, hat die in Fig. 328 wiedergegebene Form. In der Richtung 30 — 40° oberhalb und unterhalb der durch den Lichtbogen gelegten Horizontalebene ist die Ausstrahlung ein Maximum.

§ 96. Spannungsdifferenz zwischen den Kohleelektroden. Die zum Betriebe des Lichtbogens erforderliche Spannung zwischen den Kohleelektroden hängt bei Gleich- und Wechselstrom von der Länge des Lichtbogens, von dem Material der Kohle und der Art derselben (Homogen- oder Dochtkohle) und von der Stromstärke ab; bei Wechselstrom aufserdem noch von der Kurvenform desselben.

Bei Wechselstrom und Gleichstrom und für alle Kohlenarten nimmt die Spannung bei ruhig brennendem Bogen langsam mit wachsender Bogenlänge zu.

Für jede Stromstärke und Lichtbogenlänge gibt es eine untere Grenze der Spannung, unterhalb welcher der Lichtbogen unruhig brennt und zischt. Bei den am häufigsten vorkommenden Stromstärken von 6 bis 20 Amp. und Bogenlängen von 2 bis 4,5 mm beträgt für Gleichstrom die Spannung zwischen den Kohleelektroden 42 bis 48 Volt.

Beim Wechselstromlichtbogen von derselben Länge und bei denselben effektiven Stromstärken ist die Spannungsdifferenz zwischen Dochtkohlen 28 bis 34 Volt. Bei Homogenkohlen würde die Spannungsdifferenz unter denselben Verhältnissen erheblich gröfser sein.

§ 97. Optischer Wirkungsgrad und spezifischer Verbrauch. Der optische Wirkungsgrad ist das Verhältnis der leuchtenden zur gesamten vom Lichtbogen ausgehenden Strahlung. Der optische Wirkungsgrad der Kohlenfadenlampen beträgt etwa 3 bis 5 Proz., dagegen der Wirkungsgrad der Bogenlampen 10 Proz. wegen der höheren Temperatur der Kohlen. Nach den meisten der vorliegenden Beobachtungen ist der Energieverbrauch pro N. K. im Gleichstromlichtbogen erheblich kleiner als im Wechselstromlichtbogen. Die Wechselstrombogenlampe braucht bei gleicher Leuchtkraft 30 Proz. und mehr an Energie als die Gleichstrombogenlampe. Für den

Energieverbrauch der Bogenlampen jedoch sind Bogenlänge und Material der Kohlen von gröfster Wichtigkeit, so dafs sich allgemein gültige Angaben über den Energieverbrauch im Gleichstrom- und Wechselstromlichtbogen schwer machen lassen.

Eine Gleichstrombogenlampe für 10 Amp. hat zwischen den Kohleelektroden die Spannungsdifferenz 45,2 Volt bei einer Lichtbogenlänge von 3 mm. (Vergl. Uppenborn, Kalender für 1902, S. 133.)

Die maximale Lichtstärke beträgt 1450 N.K., während die praktische hemisphärische Lichtstärke der Lampe mit Überfangglocke 620 N.K. beträgt, d. h. die mittlere Lichtstärke auf einer um den Lichtpunkt und unterhalb desselben liegenden Halbkugel. Der Energieverbrauch im Lichtbogen beträgt somit 452 Watt, also der Verbrauch pro 1 N.K. mittlerer hemisphärischer Lichtstärke $= \frac{452}{620} = 0{,}73$ Watt. Da jedoch die Lampe in einfacher Parallelschaltung (vergl. § 103) einschliefslich des erforderlichen Vorschaltwiderstandes eine Spannung von 65 Volt gebraucht, so ist der wirkliche Energieverbrauch für die Lampe 650 Watt und somit der Energieaufwand pro N.K. der praktischen hemisphärischen Lichtstärke $\frac{650}{620} = 1{,}05$ Watt.

Eine 20 Ampère-Gleichstrombogenlampe verbraucht bei 65 Volt Betriebsspannung die Energie 20 . 65 = 1300 Watt. Ihre mittlere hemisphärische Lichtstärke ist 1700 N.K., so dafs der spezifische Verbrauch $= \frac{1300}{1700} = 0{,}765$ Watt beträgt. Etwas günstiger stellt sich das Resultat bei der Reihenschaltung von zwei oder mehreren dieser Lampen.

Mit höherer Stromstärke bezw. Energieverbrauch der Lampen wächst die Lichtstärke erheblich schneller als diese Gröfsen; Lampen für 3 bis 4 Amp. verbrauchen etwa 1,5 Watt pro 1 N.K. mittlerer hemisphärischer Lichtstärke.

§ 98. Vorrichtung zum Regulieren der Bogenlampen. Die Bogenlampen mit selbsttätiger Regulierung erhalten eine oder zwei regulierende Spulen, welche zum Lichtbogen so geschaltet werden, dafs der Strom in ihnen direkt durch Veränderungen des Lichtbogens beeinflufst wird. Das magnetische Feld dieser Spulen wirkt auf einen Eisenkern oder einen Anker, welcher bewegt wird und das Regelwerk in Betrieb setzt.

Das Regelwerk der Bogenlampe soll 1. beim Einschalten der Lampe die Kohlenstifte in Berührung bringen, sofern dieselben im stromlosen Zustande nicht schon in Berührung sind, 2. nach erfolgter Zündung auf einen kurzen Abstand voneinander entfernen, der von der Stromstärke, der Lichtstärke u. s. w. abhängt, und 3. die Länge des Lichtbogens trotz des Abbrennens der Kohlen konstant halten.

Bezüglich der inneren Schaltung kann die Regulierung der Bogenlampe nach den folgenden drei Methoden ausgeführt sein:

1. Die regulierende Spule ist mit dem Lichtbogen in Reihe geschaltet: Hauptstrombogenlampen.

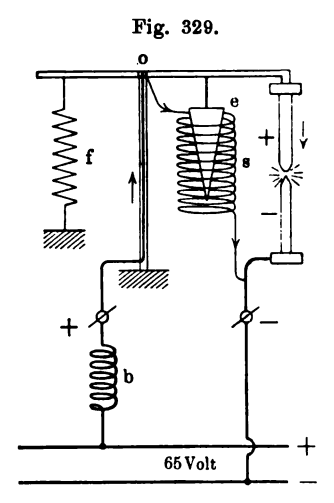
2. Die regulier[illegible] im N[illegible]s zum Lichtbogen [illegible]ebenschlu[illegible]

3. Die eine der regulierenden Spulen ist in Reihe mit dem Lichtbogen, die andere ist dem Lichtbogen parallel geschaltet: **Differentiallampen.**

Wir übergehen die Wirkungsweise der sehr wenig gebräuchlichen Hauptstromlampen und beschreiben die Wirkungsweise der

§ 99. Nebenschlufsbogenlampen. Die Schaltung derselben ist schematisch in Fig. 329 dargestellt. Der Strom, welcher durch die im Nebenschlufs zum Lichtbogen liegende Regulierspule *s* fliefst, ist proportional der Spannung zwischen den Kohlenstiften. Die Spule *s* hat hohen Widerstand und grofse Windungszahl. Die obere +-Kohle sei an dem um *o* drehbaren Hebel befestigt. Am Hebel hängt der Eisenkörper *e*, welcher teilweise in das Innere der Spule *s* hineinragt. *f* ist eine Feder, welche der von der Spule auf *e* ausgeübten Kraft entgegenwirkt. Die Lampe sei zwischen zwei Leitungen eingeschaltet, zwischen denen die konstante Spannungsdifferenz 65 Volt vorhanden ist. Der Lampe ist der Widerstand *b* vorgeschaltet (*b* = Beruhigungs- oder Vorschaltwiderstand). Ist die normale Stromstärke im Lichtbogen 10 Amp., so beträgt *b* etwa 2 Ω. Der Vorschaltwiderstand *b* vermindert die Stromschwankungen.

Fig. 329.



Wäre nur die Lampe in Fig. 329 ohne Vorschaltwiderstand eingeschaltet, so würde in dem Augenblicke des Anzündens der Widerstand der Lampe sehr gering und die Stromstärke in den Kohlenstäben sehr hoch sein, während in der parallel geschalteten Spule nach § 16 die Stromstärke fast Null ist. Infolgedessen würde die Feder *f* plötzlich kräftig wirken und die Kohlen mit grofser Gewalt auseinander reifsen, wobei wiederum die Stromstärke im Lichtbogen sehr weit heruntersinken würde. Ohne den Vorschaltwiderstand würde also die Stromstärke zwischen zwei weit voneinander liegenden Grenzwerten schwanken, wobei jedes ruhige Funktionieren des Regelwerkes ausgeschlossen ist. Die Schwankungen fallen natürlich viel geringer aus, wenn die Stromstärke nicht nur von dem variablen Widerstande des Lichtbogens, sondern auch dem festen Widerstande *b* abhängt. Durch den Widerstand *b* entsteht ein nicht unbedeutender Energieverlust, der freilich bei mehreren hintereinander geschalteten Lampen in Bezug auf den Gesamtverbrauch geringer wird.

Solange die Lampe (Fig. 329) nicht eingeschaltet ist, sind die Kohlenstifte durch die Zugkraft der Feder *f* voneinander entfernt. Beim Einschalten der Lampe fliefst zunächst nur ein schwacher Strom durch *s*, die Kohlenstifte werden also zusammengebracht. Bei Berüh-

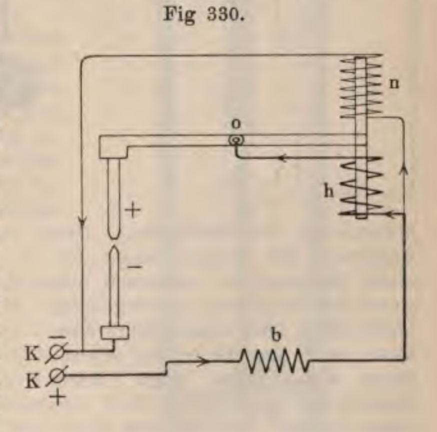
lerselben sinkt infolge des Spannungsverlustes in *b* die Spannungs-
ınz zwischen den Kohlenstiften und damit die Stromstärke in *s*.
edessen zieht die Feder die Kohlen wieder voneinander, so daſs
r Bildung des Lichtbogens kommt.

Je länger der Lichtbogen wird, desto geringer ist des hohen
rstandes wegen die Stromstärke in demselben, desto geringer ist
uch der Spannungsverlust in *b*. Je geringer aber der letztere
desto gröſser ist bei konstanter Betriebsspannung (65 Volt) die
ıungsdifferenz zwischen den Kohlen, und also auch die Strom-
e in *s*. Die Kohlenspitzen nehmen also solchen Abstand von-
der an, daſs Federkraft und Zugkraft der Spule einander das
ıgewicht halten. Da die Zugkraft der regulierenden Spule allein
der Stromstärke in ihr abhängt, diese aber der Spannungs-
enz zwischen den Kohlestiften proportional ist, so reguliert die
ıschluſsbogenlampe auf konstante Spannung zwischen den Kohlen.

§ 100. Differentialbogenlampen. Bei dieser Lampe, deren
tung schematisch in Fig. 330 dargestellt ist, wird die Regulie-
durch die Differenzwirkung einer Hauptstromspule *h* und einer
n, die im Nebenschluſs zum Lichtbogen liegt, ausgeführt. Die
nschluſsspule hat hohen Widerstand und groſse Windungszahl im
eich zur Hauptstromspule.

b ist ein der Lampe vorgeschalteter Widerstand. Zwischen den
emmen *K* sei wiederum die Spannung 65 Volt vorhanden, und
Viderstand *b* sei so bemessen,
in ihm bei dem normalen
benstrom etwa 20 Volt ver-
cht werden. Solange die
pe nicht eingeschaltet ist,
die Kohlenspitzen in Be-
ıng. Im Moment des Ein-
tens geht daher ein kräftiger
n durch *h*, wodurch nach
gter Zündung die Kohlen
nander gezogen werden. Je
er der Widerstand zwischen
Kohlenspitzen ist, desto ge-
r ist auch die Spannung
chen ihnen und damit der
n in *n*. Mit wachsender
ge des Lichtbogens steigt der Widerstand desselben, damit auch
Spannung zwischen den Kohlen und der Strom in *n*. Mit wachsen-
Länge des Lichtbogens wird also die Zugkraft der Spule *n* zu-
ıen. Bei der normalen Länge des Lichtbogens sind die Zugkräfte
er Spulen im Gleichgewichte, d. h. die Lampe reguliert so, daſs

Fig 330.



die Stromstärken in h und n konstant sind, oder dafs die Stromstärke im Lichtbogen und die Spannung zwischen den Kohlen konstant bleiben, d. h. die Differentiallampe reguliert auf konstanten Widerstand des Lichtbogens.

Bei den vorher gegebenen schematischen Darstellungen der Wirkungsweise ist die Einrichtung unberücksichtigt geblieben, wodurch allmählich bei fortschreitendem Abbrand der Kohlen die Kohlenhalter zusammen bewegt werden.]

§ 101. Beschreibung spezieller Bogenlampen. 1. Nebenschlufsbogenlampe Modell F (Fig. 331 und 332) von Körting und

Fig. 331.

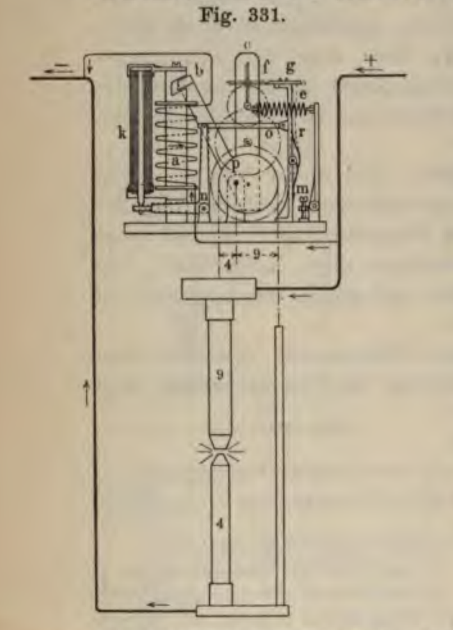
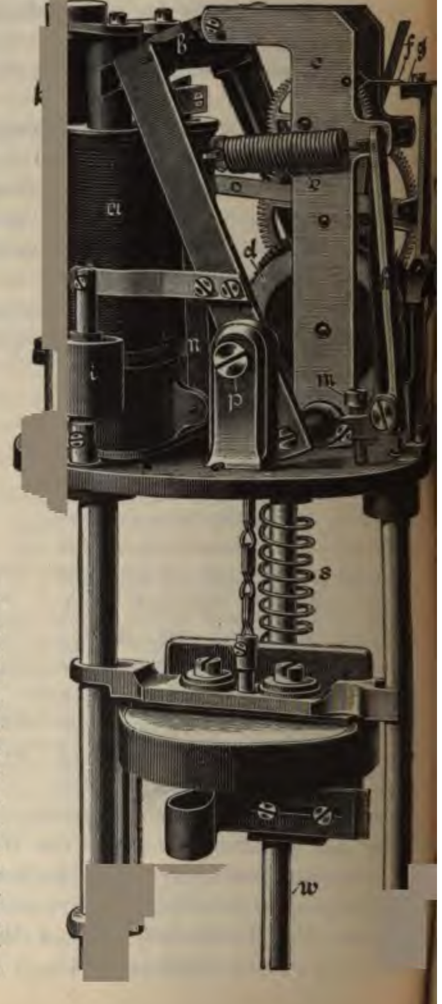


Fig. 332.



Mathiesen, Leutsch-Leipzig. Das Regelwerk der Lampe besteht aus einem Magneten a, zusammen mit einem um die Achse p schwingenden Laufwerk c, über dessen Rolle eine Kette läuft, die die beiden beweglichen Kohlenhalter trägt. Beim Einschalten der Lampe wird der Anker b, der fest mit dem Laufwerk verbunden ist, in den seitlichen Einschnitt der Polschuhe hineingezogen, und da das Laufwerk und damit die Rolle d an der Schwingung des Ankers teilnimmt, so nähern sich die Kohlestifte einander, während sie vorher einen

en Abstand hatten. Kommen dabei die Kohlenstifte noch nicht in Be-
g, so wird das jetzt frei gegebene Laufwerk durch das Übergewicht
eren Kohlehalters in Tätigkeit gesetzt, bis der Zusammenstofs der

Fig. 333.

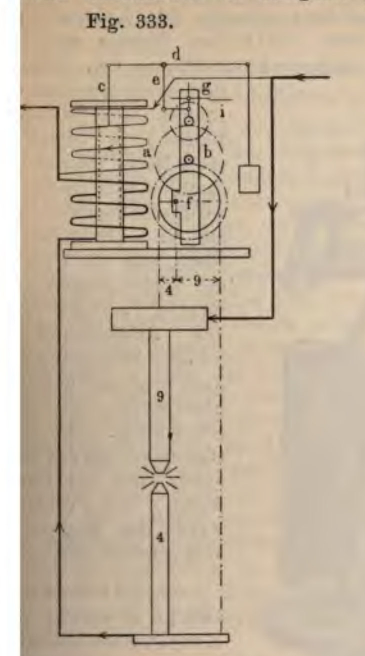


Fig. 334.

tifte erfolgt. In diesem Augenblick
die Magnetspulen *a*, welche nach
29 parallel oder im Nebenschlufs
ichtbogen liegen, fast stromlos, und
der *e* zieht den Anker *b* wieder zu-
während der Lichtbogen gebildet
Dabei stellt sich der Anker so ein,
leichgewicht zwischen der magne-
Anziehung und der Zugkraft der
e ist.

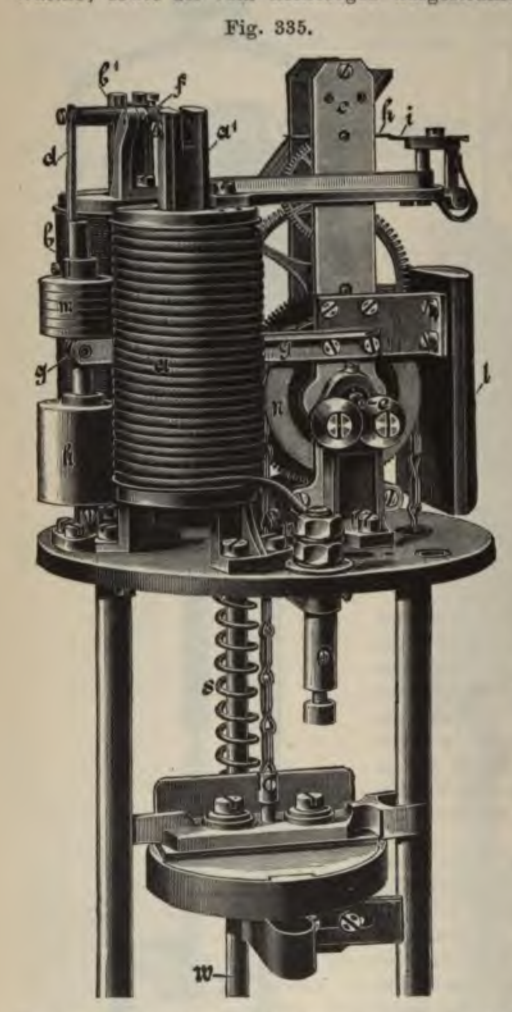
eigt infolge des Abbrandes die Span-
am Lichtbogen, so bewegt sich der
so, dafs das Flügelrad *f* von der
lagzunge *g* frei wird, wodurch das
erk eine langsame Annäherung der
herbeiführt. Dabei steigt die Strom-
im Lichtbogen, während die Span-
wischen den Kohlestiften und damit
romstärke in *a* sinkt. Sind die
weit genug genähert, so schlägt
nker zurück, und das Flügelrad
urch die Arretierung gehemmt. Der Luftdämpfer *i* mäfsigt dabei die
ungen des Ankers *b*.

ie Regulierung der Lichtbogenspannung wird durch Anziehen oder

Nachlassen der Feder *e* mittels der im Hebel *h* sitzenden Stellschraube *m* ausgeführt.

Aufserdem ist noch in der Lampe ein Wärmekompensator *k* vorhanden, der das Anwachsen der Spannungsdifferenz zwischen den Kohlestiften verhindert, wenn infolge der in *a* nach dem Jouleschen Gesetze entwickelten Wärme, sowie der vom Lichtbogen ausgestrahlten Wärme der Widerstand der Magnetspulen *a* zunimmt. Der Wärmekompensator *k* besteht aus einer Reihe ineinander gesteckter und wechselseitig so miteinander verbundener Röhren aus Zink- und Eisenblech, dafs die Differenzen der beiderseitigen Ausdehnungen addiert werden. Die Ausdehnung wird durch Winkelhebel und Zugstange auf den Hebel *r* übertragen, der die Anschlagzunge *g* so weit zurückzieht, wie der Magnetanker und das Flügelrad durch die verminderte Kraft des Magneten zurückgetreten sind.

Fig. 335.



2. **Differentiallampe Modell J von Körting u. Mathiesen, Leutsch-Leipzig.** In dieser Lampe (Fig. 333 und 334) ist ein Doppelsolenoid *a* vorhanden, welches eine Nebenschlufs- und eine Hauptstromspule enthält, die auf einen gemeinschaftlichen, an der Stange *c* hängenden Eisenkern wirken. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn beide Spulen die gleiche Anzahl Amperewindungen haben. Wird der Widerstand des Lichtbogens gröfser, und nimmt also die Stromstärke in der Hauptstromspule ab, so steigt die Spannung an den Enden der Nebenschlufsspule, der Eisenkern wird in Fig. 333 in die Höhe gezogen, das Laufwerk *b* wird frei und die Kohlespitzen nähern sich einander, bis der Strom in der Hauptstromspule solche Stärke erlangt hat, dafs der Kern in die Gleichgewichtslage gezogen wird, wobei das Flügelrad *g* durch die Zunge bei *i* gehalten wird. Die Bewegungen des Eisenkernes werden durch den dreiarmigen Hebel *d* und durch die Zugstange *e* auf das Laufwerk *b* übertragen, das um die auf Rollen gelagerte Achse *f* schwingt. Der

Hebel d steht auch in Verbindung mit einem Luftdämpfer, der die Bewegungen des Eisenkernes abschwächt.

Wir übergehen hier die Beschreibung der von den übrigen elektrotechnischen Firmen gelieferten Bogenlampen, in denen sehr vollkommene Reguliervorrichtungen ähnlicher Art vorhanden sind, wie in den oben beschriebenen Lampen.

Nebenschlufsbogenlampen werden auch für den Betrieb mit Wechselstrom hergestellt. Wir beschränken uns hier auf die Beschreibung der

3. Differentiallampe, Modell R, für Wechselstrom von Körting und Mathiesen. Das Regelwerk der Lampe ist in Fig. 335 dargestellt und enthält eine Hauptstromspule a und eine Nebenschlufsspule b, in welche bezw. zwei Eisenkerne a' und b' eintauchen. Diese Kerne sind an einem Balancier f befestigt, der mittels der Zugstange d und des Armes g das um die Achse e schwingende Laufwerk in Bewegung setzt. Die beiden beweglichen Kohlehalter hängen an einer über die Rolle n laufenden Kette. Die Wechselstrombogenlampe kann im allgemeinen nur für diejenige Kurvenform des Wechselstromes richtig arbeiten, für welche sie reguliert ist. Ist die Lampe aufser Betrieb, so sind die Kohlenstifte miteinander in Berührung. Beim Einschalten geht der Hauptstrom durch a, wobei a' eingezogen und das Laufwerk nach rechts bewegt wird, so dafs die Kohlenspitzen zur Bildung des Lichtbogens auseinander gezogen werden. Nimmt die Lichtbogenspannung zu, so wächst die Stromstärke in der im Nebenschlufs zum Lichtbogen liegenden Spule b, damit wird das Laufwerk nach links bewegt, bis das Flügelrad h frei wird, und die Arretierung des Laufwerkes aufgehoben ist. Durch das Übergewicht des oberen Kohlehalters sinkt dieser herunter, bis bei hinreichender Stromstärke im Lichtbogen a' so weit wieder eingezogen wird, dafs die Arretierung des Laufwerkes erfolgt. Die Solenoidkerne a' und b' bestehen aus dünnen Eisenblechstreifen. Ein kleiner an den Stangen der Lampe befestigter emaillierter Reflektor dient zur Reflexion des nach oben strahlenden Lichtes.

Diese Lampe eignet sich sowohl für einfache Parallel- wie auch für Hintereinanderschaltung, und erfordern

4	Lampen	in	Reihe	120 bis 130	Volt Netzspannung
3	„	„	„	90 bis 100	„ „
2	„	„	„	60 bis 70	„ „

Die einfache Parallelschaltung erfordert 35 Volt Netzspannung.

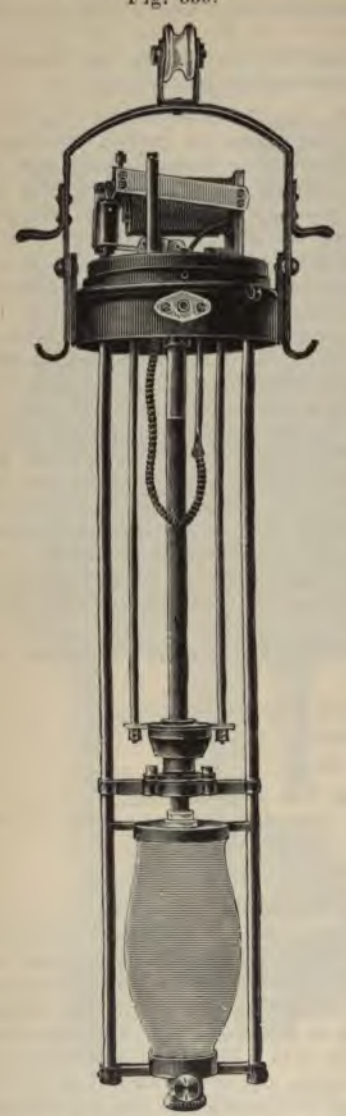
Speist man jede Lampe mit einem besonderen Transformator, so ist eine Spannung von 30 Volt ausreichend.

§ 102. Besondere elektrische Bogenlampen.

1. Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen (Fig. 336). Der eingeschlossene Lichtbogen zeichnet sich durch geringen Verbrauch an Kohle aus, weil er sich in einer Glashülle befindet, in welche der Sauerstoff der Luft nur in sehr beschränktem Mafse Zutritt hat. Bei einer Spannung von 40 Volt haben unter diesen Verhältnissen die Kohlenstifte so geringen Abstand voneinander, dafs die Lichtausstrahlung sehr beschränkt wird. Für den eingeschlossenen Lichtbogen bedarf man daher höherer Spannung und zwar etwa 80 Volt. Nach den angestellten Messungen ist der spezifische Verbrauch beim eingeschlossenen Lichtbogen wesentlich gröfser als beim gewöhnlichen. In manchen Fällen ist die lange Brenndauer der Kohlen von besonderem Werte. Siemens und Halske, A.-G., Berlin, Körting und Mathiesen u. a. m. fertigen Dauerbrandlampen von 100- bis 200stündiger Brenndauer an. Der Betrieb der einzelnen Lampen erfordert eine Netzspannung von 110 Volt.

Viel verbreitet ist die von der Jandus-Gesellschaft in Handel gebrachte Dauerbrandlampe. Nachteilig für die Verteilung des Lichtes bei diesen Lampen ist das häufig beobachtete „Wandern" des Lichtbogens auf den nur wenig abgerundeten Endflächen der Kohlenstifte.

Fig. 336.



2. **Die Dreischaltungslampe (Triplexlampe).** Während bei der Netzspannung 110 Volt meistens nur zwei Bogenlampen in Reihe geschaltet werden können und dabei eines Vorschaltwiderstandes bedürfen, welcher etwa 20 Volt verbraucht, so kann man bei derselben Spannung drei Dreischaltungslampen in Reihe mit nur kleinem Vorschaltwiderstand anordnen. Die Lampen besitzen eine sehr empfindliche Reguliervorrichtung, die in der Ausführung mit derjenigen der Differentiallampen übereinstimmt. Das Inbetriebsetzen dieser Lampen erfolgt mittels eines Anlafswiderstandes, der entweder von Hand oder automatisch ganz oder auf einen geringen Betrag ausgeschaltet wird. Der bei dieser Schaltung, wo der Energieverlust in dem Vorschaltwiderstand der gewöhnlichen Bogenlampen fortfällt, zu erzielende Gewinn an Licht bezw. die Energieersparnis beträgt 25 bis 30 Proz. Beim Anschlufs an ein Netz mit der Betriebsspannung 110 Volt beträgt die Spannungsdifferenz zwischen den Kohlen der Triplexlampen etwa 35 Volt; bei gleicher Stromstärke verhält sich der spezifische Energieverbrauch bei Zweischaltung zu demjenigen bei Dreischaltung etwa wie 0,67 : 0,50.

Auf besondere Arten von Bogenlampen wie auf die für **indirekte Beleuchtung** und für **Projektionszwecke**, auf die **Ersatzkohlenlampen** mit zwei nacheinander abbrennenden Kohlenpaaren, sowie auf die **Doppelbogenlampe** mit zwei gleichzeitig brennenden Bogen sei hier nur kurz hingewiesen.

Die Versuche, durch Tränkung der Kohle mit gewissen Stoffen die Lichtausbeute zu erhöhen, seien kurz erwähnt. Bei den Bogenlampen, **System Bremer**, wird durch einen Zusatz von 20 bis 45 Proz. nicht leitender Metallsalze, z. B. Calcium-, Magnesium- oder Siliciumsalze, eine weit gröfsere Lichtausbeute bei freilich gröfserem Kohleverbrauch erzielt (siehe Elektrotechnische Zeitschrift 1900, S. 546). Hierher gehören auch die sogenannten **Flammenbogenlampen**.

§ 103. Schaltung der Bogenlampen. Viel seltener als die
ırallelschaltung ist bei uns die reine Hintereinanderschaltung der
ɔgenlampen in gröfserer Zahl bis zu 20 und mehr. Fig. 337 stellt
e Reihenschaltung von 6 Bogenlampen dar. Die Montage einer
lchen Anlage ist verhältnismäfsig ein-
ch, freilich ist die Abhängigkeit der
ımpen voneinander sehr grofs, und
örungen in einer der Lampen beein-
ıssen alle übrigen derselben Reihe.

Fig. 337.

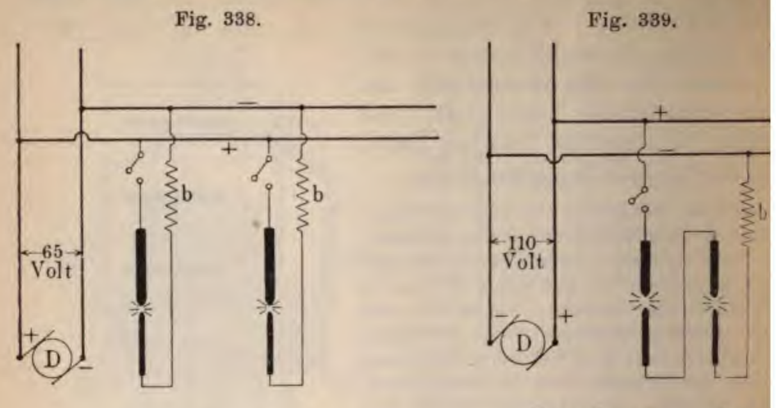
Bei dieser Schaltung wird meistens durch
ɜ Maschine die Stromstärke konstant gehalten,
ihrend die Spannung entsprechend der Zahl
r eingeschalteten Lampen geändert werden
ıfs. Für diese Schaltung verwendet man
ɜistens Differentiallampen. Zur Sicherung
s Betriebes bringt man bei Reihenschaltung
jeder der Lampen eine Kurzschlufsvor-
ıhtung an, die selbsttätig die Lampe aus-
ɦaltet, wenn der Lichtbogen aus irgend
ıem Grunde übermäfsig lang wird, oder eine
ɔrrichtung, die selbsttätig während der
ıuer der Störung einen Ersatzwiderstand ein-
haltet, der die ganze Lichtbogenspannung
ler einen grofsen Teil derselben verbraucht.
n Stelle dieser Apparate kann auch ein selbsttätiger Umschalter mit Ersatz-
iderstand an jeder Lampe der Reihe angebracht werden, welcher die zuge-
örige Lampe selbsttätig wieder einschaltet, nachdem die Störung beseitigt
t. Einfacher als die genannten Apparate ist der Minimalausschalter
ir Gleich- und Wechselstrom, der den Stromkreis einer Bogenlampen-
ihe selbsttätig ausschaltet, sobald eine Lampe aus irgend einem Grunde
ɜrsagt, wodurch das Verbrennen der Nebenschlufsspule der betreffenden
ampe verhindert wird.

Bei einer Serienschaltung von Differentiallampen bei einer Netzspan-
ɪng von über 120 Volt haben die vorhin genannten Apparate den Zweck,
die Nebenschlufsspule der Lampe, in welcher die Störung auftritt, aus
ɜm Stromkreise auszuschalten und 2. zu verhindern, dafs die ganze Lampen-
ihe erlischt. Nur der erstere Zweck wird durch den Minimalausschalter
reicht. Wenn zwei oder drei Differentiallampen bei 110 Volt in Reihe ge-
haltet sind, so bedarf es keines Schutzes der Nebenschlufsspulen. Auch bei
ɪrienschaltung von vier Nebenschlufslampen wird man im allgemeinen noch
e oben genannten Apparate fortlassen können.

Am häufigsten sind folgende Schaltungen der Gleichstrombogen-
ımpen:

1. einfache Parallelschaltung der Bogenlampen zwischen den Haupt-
leitungen bei einer Netzspannung von 65 Volt (Fig. 338);
2. zwei gewöhnliche Bogenlampen (Fig. 339) oder drei in Reihe ge-
schaltete Triplexlampen zwischen den Hauptleitungen bei einer
Netzspannung von 110 Volt (Fig. 340);
3. vier bis fünf in Reihe geschaltete Differentialbogenlampen bei
einer Netzspannung von 220 Volt.

In Fig. 337 bis 340 bedeutet *D* die Dynamo, welche ent eine Kompound- oder eine Nebenschlufsdynamo ist. *b* ist de



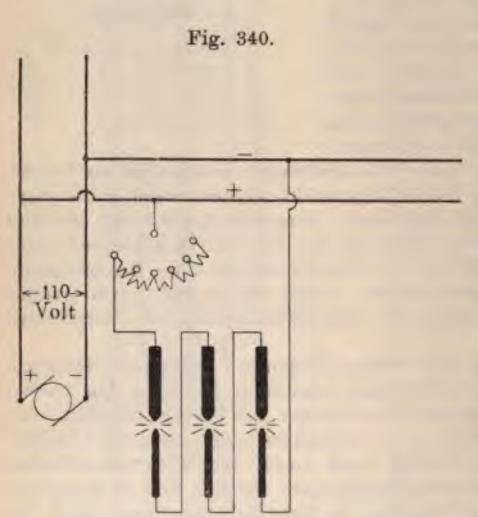


Fig. 340.

Bogenlampe oder Lampenreihe vorgescha Widerstand (siehe § Bei 110 Volt Netzs nung werden Dauerbr lampen (vergl. § 102) zeln, wie die Lampe Fig. 338, parallel gesch

Für die unter 1. b besprochenen Schaltu können Nebenschlufs- Differentiallampen ver det werden. Schwanku der Spannung im Leitu netze haben bei Ne schlufslampen jedoch kere Schwankungen Stromstärke zur Folge, in den Differentiallampen (vergl. Görges, Elektrotechn. Zeitschr. 1 S. 444).

In den Figuren 341 und 342 ist die Schaltung der Bogenlampe Dreiphasenstromleitungen dargestellt.

In Fig. 341 hat der Anker der Dynamo Dreieckschaltung; die Gruppen von Bogenlampen sind ebenfalls in Dreieckschaltung angeor Bei 120 Volt kann man bis zu vier der in § 101 beschriebenen Differe lampen, Modell R, in Reihe schalten. Dabei sind Sicherheitsapparate (K schlufsvorrichtungen und Umschalter) in ähnlicher Weise anzubringen, bei den Gleichstromlampen.

In Fig. 342 haben dagegen die Phasen der Dynamo Sternschalt und die Bogenlampen sind ebenfalls in Sternschaltung angeordnet. Um

denheiten in der Belastung der Phasen auszugleichen, ist die vierte
ing angebracht, welche die Verkettungspunkte der Phasen des Ankers
der Lampen miteinander verbindet.

Fig. 341.

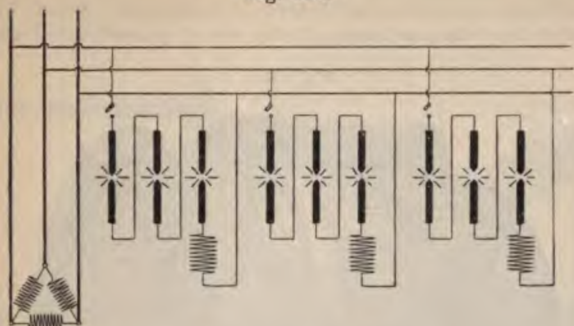
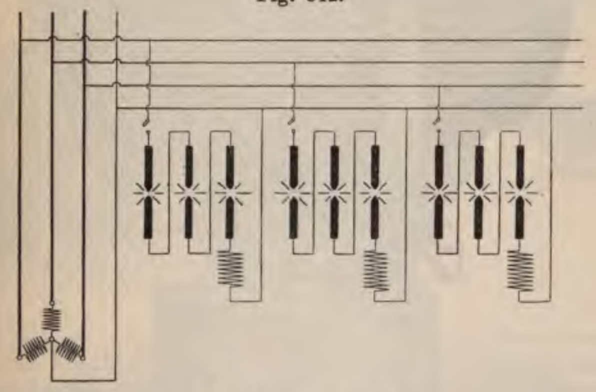


Fig. 342.



C. Scheinwerfer.

**§ 104. Normalmodell des Scheinwerfers G. 90 der Elek-
täts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert u. Co.** Das
nalmodell G 90 (Fig. 343) des Scheinwerfers mit Glasparabol-
gel und Horizontallampe der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals
uckert u. Co. in Nürnberg besteht aus folgenden Hauptteilen:

1. Dem Gehäuse mit Glasparabolspiegel, Lampe und Lampenver-
bung, Zentriersegment, Irisblende (Verdunkelungsapparat), Doppel-
ier, Jalousiesignalisierapparat und Beobachtungs- und Ventilations-
chtungen, sowie den zur Bewegung in der Vertikalen dienenden
n: Zapfen, Zapfenträger und Zahnsegment.

2. Dem Drehtisch mit den Tragarmen für die Zapfen des Gehäuses,
Vorgelegen zur Vertikal- und Horizontalbewegung des Gehäuses
Hand und mittels Elektromotoren, den Schleifbürsten, Ketten-
nern und den Krallen.

3. Dem Untersatze mit der Kugellagerung für den Drehtisch, Traverse zur Aufnahme der Schleifringe und der Elektromotoren den Schneckenradachsen.

Das Gehäuse ist ein Blechcylinder mit horizontaler Achse; hinten derselbe durch den Glasparabolspiegel mit seiner gufseisernen Fassung

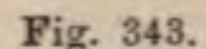
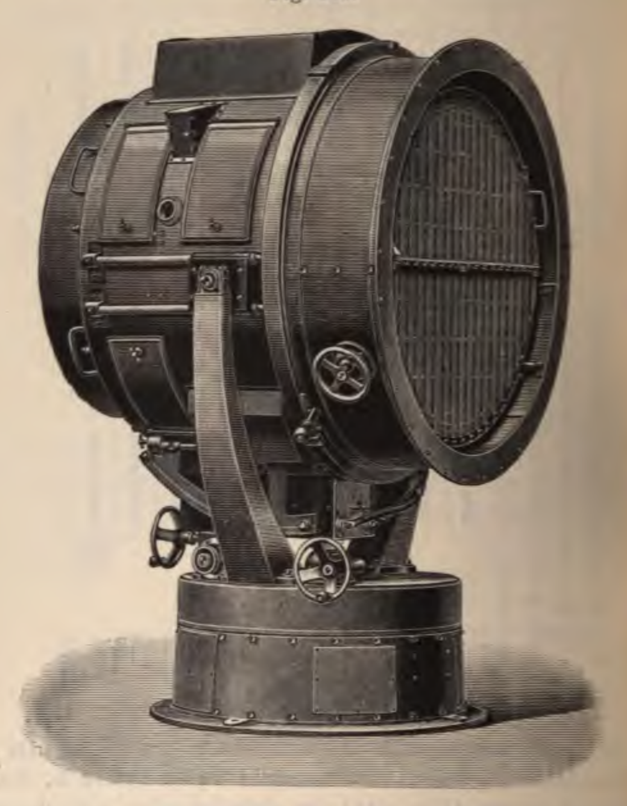


Fig. 343.



schlossen, vorne an der Öffnung des Cylinders befindet sich die Irisblende der Doppelstreuer. Die optische Achse des Spiegels fällt mit der Achse Blechcylinders zusammen. Im unteren Teile des Gehäuses befinden sich z Klappen mit schmalem Schlitze, durch welchen die Kohlehalter in das häuse hineinragen, so dafs sie sich frei bewegen können. Die beiden Koh liegen in der Achse des Gehäuses, und der Lampenkörper (Fig. 344) den Kohlehaltern kann auf den ihn tragenden Schienen in der Richt der Spiegelachse verschoben werden, so dafs jederzeit der Krater der p tiven Kohle in den Brennpunkt des Hohlspiegels gebracht werden kann.

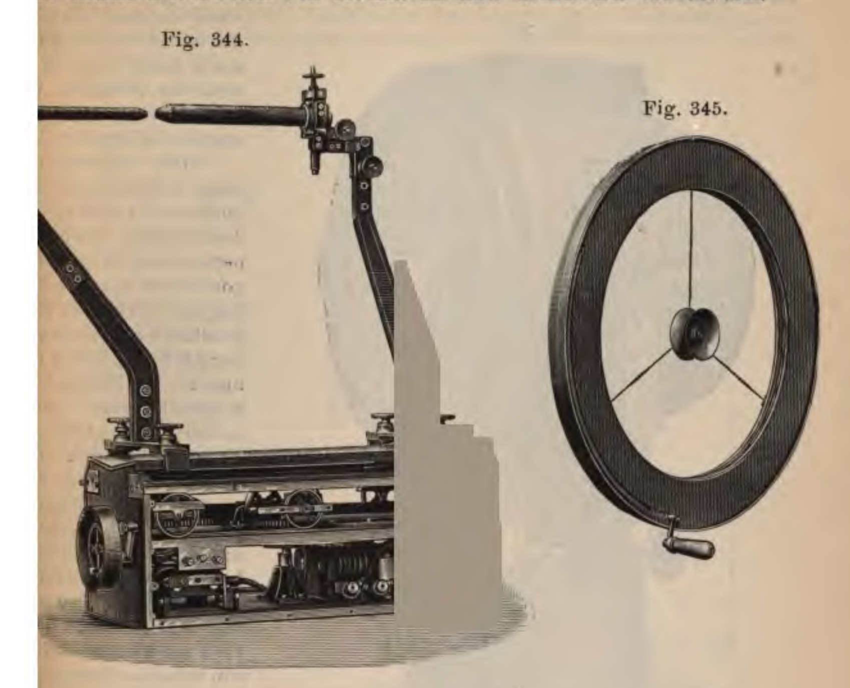
Die Lampe kann durch Drehen eines an der Aufsenwand ihres Gehä angebrachten Handrades mittels Schraubenspindel und Schneckenrad schoben werden, bis der Krater der positiven Kohle in dem Brennpun des Spiegels liegt. Zur Vermeidung einer zu grofsen Erwärmung sind

äuse Ventilationsöffnungen und oben ein Kamin angebracht. Beide sind tdicht konstruiert.

Der Spiegel ist in Parabelform geschliffen und hat bei dem Modell G 90 en lichten Durchmesser von 900 mm bei einer Brennweite von 420 mm.

Fig. 344.

Fig. 345.

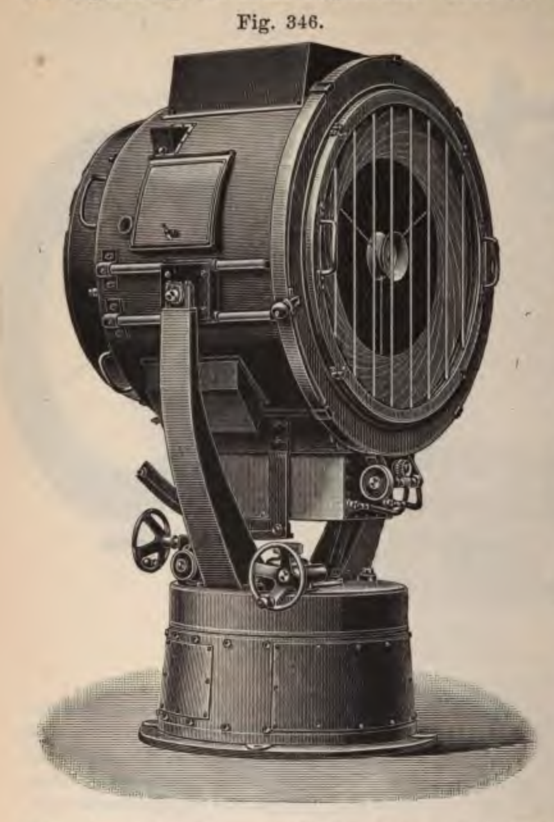


Zur längeren vollständigen Abblendung des Scheinwerferstrahles dient Irisblende (D. R. P. Nr. 102 155) (Fig. 345). Diese Vorrichtung besteht Hauptsache nach aus zwei durch viele sichelförmige dünne Messingbleche einander verbundenen konzentrischen und gegeneinander beweglichen gen, von denen der eine meist am vorderen Rande des Scheinwerfers an- racht ist, während der andere Ring daselbst allein gegen den ersteren dreht werden kann. Beim Drehen des beweglichen Ringes legen sich die zelnen Messingbleche fächerförmig übereinander und verschliefsen vom nde nach der Mitte zu allmählich die Scheinwerferöffnung. In Fig. 346 das Modell G 60 mit halb geschlossener Irisblende dargestellt. In der te selbst liegt eine Rolle mit keilförmiger Rille fest, welche auch bei ge- eter Blende kein Licht wegnimmt, da der zentrale Teil des Spiegels wegen auf ihn fallenden Schattens der negativen Kohle überhaupt kein Licht sendet. In die Rille dieser Rolle legen sich die Ränder der fächerförmigen singbleche und bewirken damit einen lichtdichten Abschlufs. Zum Zen- ren des Lichtbogens ist eine besondere Vorrichtung erforderlich, weil durch aufsteigenden heifsen Luftstrom der Lichtbogen nach oben gezogen d (siehe § 93), wobei die Kohlen einseitig abbrennen würden und eine egelmäfsige Kraterbildung entstände. Zum Zentrieren des Lichtbogens möglichst nahe demselben, konzentrisch zur Kohlenachse, ein Segment aus chem Eisen, von etwa 240°, angebracht, das durch den Lampenstrom gnetisiert wird. Durch das entstehende Feld wird der Lichtbogen (siehe

§ 19) so weit nach unten gezogen, dafs der Krater sich senkrecht zur Achse der Kohlen bildet.

Die horizontale Nebenschlufslampe ist sowohl für selbsttätige, als auch für Regulierung von Hand eingerichtet. Jede der beiden Regulierungsarten kann vor dem Entzünden eingestellt werden, auch kann man während des Brennens von der einen Art zur anderen übergehen.

Fig. 346.



Die Einrichtung zum selbsttätigen Regulieren enthält im wesentlichen zwei Magnetsysteme (Fig. 347), von denen das eine (der Bogenbilder) beim Einschalten den Lichtbogen herstellt, während der andere (Nachschubmagnet) den Nachschub der Kohlen beim Brennen bewirkt. Der Bogenbilder ist ein hufeisenförmiger Magnet, mit den Schenkeln 1 und 2, dessen Bewickelung im Hauptstromkreise liegt. Vor den Polschuhen dieses Elektromagneten schwingt ein zwischen Spitzen gelagerter Eisenanker 3, an dessen Rückseite zwei an der Lampenwand befestigte und verstellbare Spiralfedern angreifen. Die Schneckenwelle 4 ist so mit dem Eisenanker verbunden, dafs sie der Bewegung des Ankers folgen mufs.

An der vertikalen Achse 5 ist ein Schneckenrad 6 und ein Zahnrad 7 befestigt; das letztere greift in die beiden Zahnstangen 8 und 9 ein, die an leicht verschiebbaren kleinen Wagen befestigt sind, welche die Kohlenhalter tragen. Den letzteren wird durch leicht biegsame Kabel direkt der Strom zugeführt.

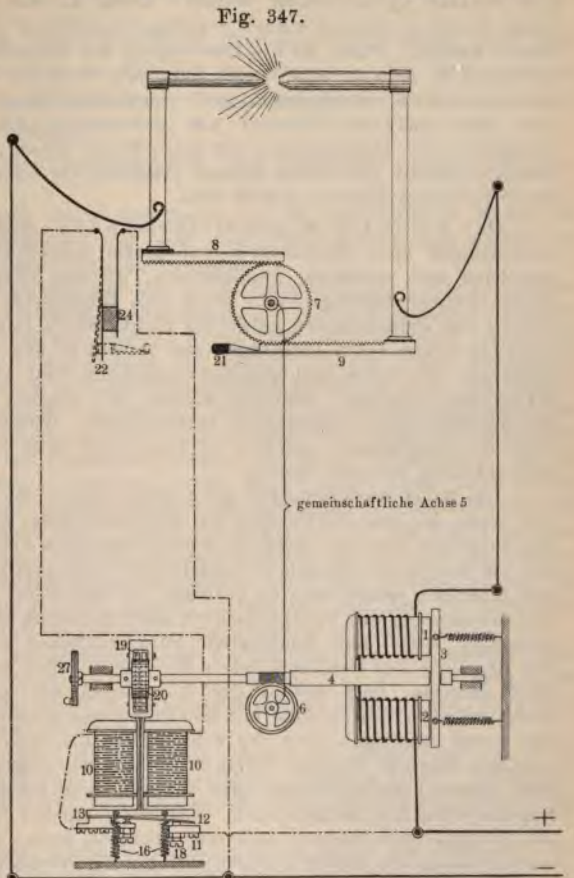
An der unteren Lampenplatte befindet sich der Nachschubmagnet 10. Die Wickelung dieses hufeisenförmigen Magneten liegt im Nebenschlufs zu den Kohlen. Vor den Polen des Magneten ist ein zwischen Spitzen gelagerter Anker 13 angebracht, welcher die Kontaktfeder 12 trägt. Durch zwei Schrauben und die verstellbaren Spiralfedern 16 wird der Anker gegen einen Anschlag gezogen, wobei gleichzeitig die Kontaktfeder 12 sich gegen den Kontaktstift 18 legt. Am Kontakte 12 wird der Nebenschlufs unterbrochen, sobald der Magnet den Anker anzieht; jedoch wieder hergestellt, wenn der Anker durch die Spiralfedern zurückgezogen wird. Am Anker ist ein Sperrkegel 19 befestigt, der beim Anziehen über ein auf der Schneckenwelle 4

Sperrrad 20 weggleitet, dagegen beim Rückgang dieses Sperrrad und somit eine Drehung der Schnecke 4 bewirkt. Durch das rad 6 wird diese Drehung auf das Zahnrad 7 übertragen und auf se eine Annäherung der Kohlen bewirkt.

die Kohlen beim Einschalten der Lampe nicht in Berührung, so Anker des Nachschubmagneten in rasche Schwingungen versetzt wechseln- nen und des Stro- durch das 20 und s Zahnrad it gedreht is die Koh- Berührung Ist dies o wird der der Wicke- achschub- n nicht erbrochen, wird der er stark durch die r Bildung ogens auf igen Ab- seinander verden.

nfolge des s die Span- renz zwi- Kohlen zu orden, so erum der es Nach- neten in gesetzt, t werden n in der beschriebe- einander

Fig. 347.



die Kohlen bis zu einer bestimmten Länge abgebrannt, so wird en an dem Halter der positiven Kohle angebrachten Stift der Strom chubmagneten durch Abheben der Feder 22 unterbrochen, wodurch chubmagnet außer Tätigkeit gesetzt wird, und der Lichtbogen nach it erlischt. Damit ist ein selbsttätiger Ausschalter in der Lampe t.

die Regulierung der Lampe von Hand geschehen, so wird durch el an der Rückwand der Lampe der Stromkreis des Nachschub- unterbrochen, in dem der Kontaktklotz 24 von den beiden Federn n wird. Mittels des Handrades 27 kann dann die Regulierung von chehen.

Die Spannung, bei welcher die beschriebene Nebenschlufslampe, Modell G 90, regulieren soll, beträgt 53 Volt bei 100 Amp. Stromstärke.

Um einerseits einen möglichst schlanken Strahlenkegel bei Fernbeleuchtung und beim Signalisieren zu haben, andererseits aber auch zur Beleuchtung näher gelegener Gebiete nach Belieben die Strahlen divergent machen zu können, dient der Doppelstreuer, der aus zwei parallelen Systemen plankonvexer Cylinderlinsen besteht, deren Achsen vertikal stehen. Die beiden Systeme können schnell voneinander entfernt und gegeneinander genähert werden. Dabei ist die Einrichtung des Doppelstreuers mithin so getroffen, dafs man in sehr kurzer Zeit von möglichst konzentriertem Lichtstrahl zu mehr divergentem und umgekehrt übergehen kann. Dagegen dient der einfache Streuer zur Ausbreitung des Scheinwerferstrahles ebenfalls in der Horizontalen, um einen festen Betrag, z. B. 20°, 30° u. s. w. Derselbe besteht aus einem System plankonvexer Cylinderlinsen, welche in einem ruhenden Rahmen gefafst sind.

Der Jalousie-Signalisierapparat dient zum Verdunkeln des Lichtstrahles beim Signalisieren auf grofse Entfernungen. Er besteht aus parallelen und vertikalen Stahlblättern, die auf vierkantigen Hohlmessingstäben drehbar befestigt sind. Nach dem Durchgange durch das zweifache System von Cylinderlinsen haben die Lichtstrahlen solche Richtung, dafs unmittelbar hinter (vom Lichtbogen aus gerechnet) den Linsensystemen Räume entstehen, wo keine Lichtstrahlen vorhanden sind und in denen sich die Stahlblätter befinden. Dadurch können bei offenem Signalisierapparat die Stahlblätter keine Lichtstrahlen zurückhalten. Werden mittels einer Handhabe die Stahlblätter gedreht, so kann eine zum Signalisieren genügende Verdunkelung erreicht werden.

Das Scheinwerfergehäuse kann durch Elektromotoren gedreht werden, von denen der eine das Gehäuse um eine horizontale Achse neigt, der andere den Drehtisch mit dem Gehäuse um eine vertikale Achse dreht. Die Motoren sind für Rechts- und Linkslauf eingerichtet, aufserdem kann ihre Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen geändert werden. Beide Motoren haben Nebenschlufswickelung und können dadurch rasch gebremst werden, dafs ihre Ankerwickelung nach dem Ausschalten kurzgeschlossen wird (vergl. §. 58, 3). Die Regelung der Geschwindigkeit der verwendeten Nebenschlufsmotoren erfolgt dadurch, dafs sowohl der Ankerstrom als auch der Magnetstrom verändert wird. Durch diese mit Elektromotoren angetriebene Bewegung kann von einem beliebigen Orte des Schiffes aus die Drehung des Scheinwerfergehäuses bewirkt werden. Beide Motoren sind vollständig eingekapselt, so dafs keinerlei stromführende oder bewegte Teile freiliegen, sie haben Stahlkugellagerung und Kohlebürsten. Das Normalmodell G 60 hat einen Spiegel von 600 mm Durchmesser und verbraucht 60 Amp., das Modell G 110 hat einen Spiegel von 1100 mm Durchmesser und verbraucht 120 bis 150 Amp.

Für die Passage durch den Suezkanal wird von der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert u. Co. ein Scheinwerfer G 40 mit Glasparabolspiegel von 400 mm Durchmesser geliefert, welcher eine selbsttätige und von Hand regulierbare Bogenlampe für 30 bis 35 Amp. enthält.

Elftes Kapitel.

Die Dynamos.

§ 105. Nach- und Vorteile des Gleichstromes und des echselstromes. Auf den Schiffen der Handels- und Kriegsmarine ıd mit wenigen Ausnahmen nur Gleichstromdynamos für den elek-schen Betrieb aufgestellt.

Als Nachteile des Wechselstromes sind allgemein besonders folgende rvorzuheben:

Der Wechselstrom kann überhaupt nur in beschränktem Maſse für emische Zwecke verwendet, also auch ohne weiteres nicht zum Laden von kumulatorenbatterieen gebraucht werden.

Der Wechselstromlichtbogen hat bei gleicher mittlerer Lichtstärke einen ıeblich gröſseren spezifischen Verbrauch, als der Gleichstromlichtbogen; besondere eignet sich der letztere wegen der Lichtverteilung besser für Scheinwerfer. Wechselströme beeinflussen in der Nähe befindliche lephonleitungen durch die Induktionsströme erheblich mehr als Gleich-öme; dies ist besonders bei dem oft notwendigen engen Zusammenlegen r elektrischen Leitungen an Bord sehr zu beachten. Das Regulieren der urenzahl ist bei den Gleichstrommotoren bequemer auszuführen, als bei n Drehstrommotoren. Letztere haben ferner einen nach ihrer Gröſse rischen 0,85 und 0,95 veränderlichen Leistungsfaktor, so daſs die wirkliche istung des Generators um 15 bis 5 Proz. kleiner ist, als die scheinbare istung. Letztere aber wird für die Konstruktion der Dynamo zu Grunde legt. Die Wechselstromdynamos müssen daher bei Motorenbetrieb um bis 15 Proz. gröſser gehalten werden, als für den Fall, daſs der Leistungs-ktor = 1 ist, was bei reinem Glühlampenbetriebe eintreten würde.

Ferner ist das Parallelschalten der Wechselstromdynamos umständlicher dasjenige der Gleichstrom- und Compounddynamos, weil die parallel zu ıaltenden Maschinen auſser der gleichen Spannung auch gleiche Polwechsel-hl und gleiche Phase haben müssen.

Die Verlegung von drei bezw. vier Leitern bei Anwendung des Drei-asenstromes, wie auf dem Reichspostdampfer „Königin Luise", bietet auch Rücksicht auf die räumlichen Verhältnisse nicht unerhebliche Schwierig-iten.

Das Berühren der Wechselstromleitungen ist schon mit Rücksicht auf sehr beschränkten und oft sehr engen Maschinenräume an Bord gefähr-her, als das Berühren der Gleichstromleitungen mit derselben Spannungs-ferenz.

Dagegen bietet der Wechselstrom folgende Vorteile:

1. An den Wechselstrommaschinen ist die Stromabnahme sehr viel ein-her als bei den Gleichstrommaschinen, bei denen teure Kollektoren ver-ndet werden, die leicht bei Unachtsamkeit durch Funkenbildung zerstört rden.

2. In solchen Räumen, wo wegen der Anhäufung von leicht brennbaren d explosiven Stoffen jede Funkenbildung vermieden werden muſs, eignet h am besten der asynchrone Drehstrommotor, weil er auch weniger War-ıg als der Gleichstrommotor braucht, und seine Aufstellung daher auch weniger leicht zugänglichen Orten geschehen kann.

3. Für die Energieübertragungen auf weite Entfernungen an Land ist die Anwendung hoher Spannungen Vorbedingung, die sich mit Wechselstrommaschinen sehr viel leichter als mit Gleichstrommaschinen erreichen lassen. Die höchste in Gleichstromdynamos zu erzeugende Spannung beträgt wohl 3000 Volt. Da man bei feststehendem Anker in den Wechselstromdynamos die Spulen sehr gründlich isolieren kann, und da der Kollektor ganz fortfällt, so lassen sich in Wechselstromdynamos von einer gewissen Gröfse an Spannungen von 10000 Volt und mehr erzeugen. Dazu kommt, dafs der Wechselstrom durch Transformatoren leicht, einfach und sicher umgeformt werden kann. Überhaupt bietet der Wechselstromtransformator die Möglichkeit, die vorhandene Betriebsspannung in einfachster Weise in jede für den praktischen Gebrauch erforderliche Spannung zu verwandeln.

Der Vorzug der Wechselstrommotoren[1]), dafs sie keinen Einflufs auf die Kompasse haben, hat sich an Bord weniger geltend gemacht, da man mit den Motoren genügend weit von den Kompassen bleiben, ferner auch die Streuung der Gleichstrommotoren auf ein sehr geringes Mafs reduzieren kann. Die Gleichstromleitungen in der Nähe des Kompasses werden so gelegt, dafs Hin- und Rückleitung dicht zusammenliegen, eventuell verwendet man konzentrische Kabel.

Würde man an Bord der Kriegsschiffe für den Motorenbetrieb mehrphasigen Wechselstrom (Dreiphasenstrom) verwenden, so müfsten für den Betrieb der Scheinwerfer besondere Gleichstromdynamos aufgestellt werden. Hierin würde für die Bedienung der Anlage eine nicht unerhebliche Komplikation liegen. Auch sind für den Betrieb sogenannte Doppelmaschinen in Vorschlag gebracht, welche sowohl Gleichstrom als auch gleichzeitig Drehstrom liefern. Gegen die Anwendung dieser Maschinen wird mit Recht geltend gemacht (vergl. Uthemann, Die Verwendung der Elektrizität auf Kriegsschiffen. Marine-Rundschau X, S. 155, 1899): 1. Die Zweiteilung der Anlage führt zu einer Verringerung der Reserve, da das für die Beleuchtung vorhandene Netz keinen Strom für die Motoren geben kann. 2. Bei Störungen in der Erzeugung des Gleichstromes in der Maschine wird auch sogleich die Erzeugung des Drehstromes gestört. 3. Das komplizierte Leitungsnetz, und dann aufserdem noch eine Reihe von Nachteilen des Wechsel- bezw. Drehstromes, die bereits vorhin im allgemeinen angeführt sind.

§ 106. Wahl der Betriebsspannung. Als Betriebsspannung wird neuerdings für den elektrischen Betrieb an Bord meist 110 Volt gewählt. Eine höhere Spannung, die den Vorteil schwächerer Ströme und damit auch eines geringeren Kupfergewichtes der Leitungen haben würde, läfst sich nur schwer anwenden, weil die Isolation der Schiffsleitungen bei der Feuchtigkeit in der Mehrzahl der Räume nur bei Anwendung des besten Materiales dauernd oberhalb eines bestimmten Betrages (vergl. § 144) gehalten werden kann. Bei dem meist beschränkten Raum für die elektrischen Leitungen läfst es sich häufig nicht vermeiden, dafs dieselben in der Nähe von Dampfröhren oder Kaltwasserröhren geführt werden. Erstere beschädigen durch ausstrahlende Wärme die Isolation, letztere sammeln auf ihrer Oberfläche fortwährend Feuchtigkeit an. Dazu kommt, dafs die Leitungen vielfach auf den

---

[1]) Vergl. Uthemann, Verwendung der Elektrizität auf Kriegsschiffen. Marine-Rundschau X, S. 144 u. f., 1899.

Eisenteilen des Schiffes befestigt werden müssen; Isolationsfehler zwischen zwei Punkten der Leitung, zwischen denen eine merkliche Spannungsdifferenz vorhanden ist, werden also leicht zu einem Stromschlufs bezw. Kurzschlufs durch den Eisenkörper des Schiffes Veranlassung geben.

In Rücksicht auf den Betrieb der Scheinwerfer wählt man häufig noch als Betriebsspannung auf Kriegsschiffen 70 bis 80 Volt.

§ 107. Gröfse und Leistung der Dynamo. Sind zur Beleuchtung des Schiffes 800 Glühlampen à 25 N. K. erforderlich, und rechnet man für den spezifischen Verbrauch 3,4 Watt, so verbraucht die Glühlampe von 25 N.K. 85 Watt. Die gesamte Leistung der Dynamo würde 68000 Watt sein. Verteilt man diese Leistung auf zwei Dynamos, so müfste jede bei der Polklemmenspannung 110 Volt eine Stromstärke bis zu $\frac{34\,000}{110} \cong 300$ Amp. liefern können. Für die Lampen, welche während des Tages brennen müssen, wird dann in den meisten Fällen eine der beiden Dynamos genügen; zur Zeit des Hauptlichtbetriebes sind beide Maschinen parallel geschaltet, oder die Stromkreise werden durch Umschalten (vergl. § 131) auf die beiden Maschinen möglichst gleichmäfsig verteilt. Ist der totale Wirkungsgrad jeder der beiden Dynamos $\eta = 0{,}84$, so würde für jede Dynamo eine Betriebsmaschine von $\frac{34000}{0{,}85 . 736} \cong 55$ P.S. erforderlich sein.

In dem vorliegenden Falle gelangen vier- und für noch gröfsere Leistungen sechs- und mehrpolige Dynamos zur Aufstellung, welche den Vorzug haben, dafs bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit, wie bei den zweipoligen Dynamos, eine gröfsere Leistung, als bei diesen, erreicht wird. Bei derselben Leistung dagegen haben die mehrpoligen Dynamos mit Parallelschaltung der Ankerstromzweige gegenüber den zweipoligen den Vorzug, dafs jeder wirksame Leiter nur $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. des Ankerumfanges zurückzulegen braucht, um den ganzen Kraftlinienflufs zweier nebeneinander liegender Pole zu schneiden, dafs also ihre Umdrehungszahl kleiner ist. Dieses ist besonders wichtig für den direkten Antrieb der Dynamos.

Der Norddeutsche Lloyd schreibt für die Dynamos an Bord der Dampfer vor, dafs Dynamos für eine Leistung bis zu 30 K. W. nicht mehr als 300 Umgänge, für 40 K. W. nicht mehr als 250 Umgänge und für 60 bis 70 K. W. nicht mehr als 200 Umgänge machen sollen.

§ 108. Aufstellung der Dynamos. Die Dynamos sollen in einem vom Maschinenraum leicht zugänglichen und gut ventilierten Raume aufgestellt werden. Der Dynamoraum mufs vollständig gegen das Eindringen von Wasser durch überkommende Seen geschützt sein,

auch dürfen in denselben keine sich etwa entwickelnden explosiven Ga
oder ätzenden Dämpfe dringen können. Zum Zwecke der Reinigun
und Reparatur der Dynamos soll der Raum für dieselben möglichst s
bemessen sein, daſs Anker und Magnetspulen abgenommen werde
können, ohne daſs die Antriebsmaschine oder deren Rohrleitung ent
fernt wird.

Bei Auſsenpolmaschinen soll ferner das Magnetgestell zweiteili
gemacht werden, damit leichter ein Nachpassen der Lager ausgeführ
werden kann. Zwischen Dampfmaschine und Dynamo muſs gege
spritzendes Wasser ein Schutzblech angebracht werden, das auch di
Welle möglichst öldicht umschlieſst.

Die Dynamomaschine wird häufig mit ihrer Antriebsmaschine au
einer gemeinsamen Grundplatte mit Auſsenbocklager montiert. Di
Wellen beider Maschinen sind möglichst durch Kuppelung miteinande
zu verbinden. Zur Verminderung der Erschütterungen bringt man
unter die gemeinsame Grundplatte Eisenfilz.

Bei der Aufstellung der Dynamo ist darauf zu achten, daſs sie an
der Seite des Kollektors leicht zugänglich ist.

§ 109. **Prüfung der Dynamos.** Wir beschränken uns auf die
Prüfung der auf Seeschiffen am meisten gebräuchlichen Dynamos für
Gleichstrom.

Bei der Prüfung der Nebenschluſs- und Compounddynamos han-
delt es sich zunächst um die Ermittelung der auf S. 92 besprochenen
Charakteristik. Unter den daselbst angeführten Verhältnissen wird
die Dynamo, in etwa vier bis fünf Abstufungen, bis voll belastet oder
entlastet und unter Benutzung eines Präzisionsvoltmeters und eines
Präzisionsampèremeters wird die Charakteristik für die normale Touren-
zahl des Ankers festgestellt. Fortwährend muſs dabei die Tourenzahl
des Ankers kontrolliert werden; kleine Abweichungen von der normalen
Tourenzahl während des Probebetriebes sind bei der Feststellung der
Spannung zu berücksichtigen, indem die Polklemmenspannung sich
annähernd proportional der Tourenzahl verändert. Immerhin ist
während der Probe darauf zu halten, daſs die Umlaufszahl des Ankers
möglichst konstant bleibt.

Zur Feststellung der Verluste dient:

1. Die Leerlaufsmethode. Man läſst die Dynamo bei einer
Spannung, welche ungefähr der normalen Polklemmenspannung der-
selben gleich ist, bei der vorgeschriebenen Tourenzahl als Motor leer
laufen und bestimmt den Energieverbrauch durch Messung des Strom-
verbrauches und der Polklemmenspannung. Die Ausführung dieser
Methode, wie die Aufnahme der Charakteristik überhaupt, schlieſst
sich am besten an einen mehrstündigen Betrieb mit Volllast an, nach-
dem alle stromführenden Teile sich im betriebswarmen Zustande

finden. Der Energieverbrauch, vermindert um den Verlust in der Ankerwickelung und in den Magnetspulen, stellt dann den durch Lager-, Luft- und Bürstenreibung, sowie durch Hysteresis und Wirbelströme bedingten Verlust dar. Die Änderung dieses Verlustes mit der Belastung bleibt unberücksichtigt.

Zur Ermittelung der Verluste im Anker und in den Magnetspulen sind die Widerstände derselben im betriebswarmen Zustande zu messen; ferner ist die Stromstärke in den Magnetspulen zu bestimmen.

Beispiel: Eine Nebenschlufsdynamo liefert bei 1100 Umdrehungen des Ankers in der Minute und bei der Polklemmenspannung 150 Volt den Strom 30 Amp. in die äufsere Leitung. Dabei ist der Ankerwiderstand (warm) $w_a = 0{,}4\ \Omega$, der Strom in den Magnetspulen 1,5 Amp. Um den Wirkungsgrad zu ermitteln, läfst man die Maschine bei 151,2 Volt Klemmenspannung als Motor leer laufen, so dafs der Anker ebenfalls 1100 Umdrehungen pro Minute macht und dabei den Strom 2,1 Amp. aufnimmt, während die Magnetspulen aus ihrer Verbindung mit dem Anker losgelöst sind und von einer fremden Stromquelle den Strom 1,5 Amp. erhalten.

Die Nutzleistung der Dynamo ist 4,5 K.W. Der aus dem Anker der Dynamo bei normaler Belastung fliefsende Strom ist 31,5 Amp., dabei ist der Energieverlust im Anker $\overline{31{,}5^2} \cdot 0{,}4 = 397$ Watt, während der Energieverlust in den Magnetspulen $1{,}5 \cdot 150 = 225$ Watt beträgt. Die gesamte, von der Dynamo gelieferte elektrische Energie ist also 5122 Watt, demnach ist der elektrische Wirkungsgrad derselben $\frac{4500}{5122} = 0{,}878$. Ist L der durch Reibungswiderstand, Magnetisierungsarbeit u. s. w. (s. S. 96) entstehende Verlust, so ist, von der Änderung der Ankerrückwirkung (§ 45) abgesehen,

$$L = 151{,}2 \cdot 2{,}1 - 2{,}1^2 \cdot 0{,}4 = 316 \text{ Watt}.$$

Für den totalen Wirkungsgrad (siehe S. 96) erhalten wir also

$$\eta = 0{,}827.$$

Der Widerstand des Nebenschlusses, welcher im betriebswarmen Zustande gemessen werden mufs, ergibt sich indirekt nach dem Ohmschen Gesetze aus der Klemmenspannung und der Stärke des Stromes in den Magnetspulen. Dabei kann derjenige Widerstand des Nebenschlufsregulators für die Berechnung des Energieverbrauches angenommen werden, der bei voller Belastung eingeschaltet ist.

Der Ankerwiderstand kann mit einer für die meisten Fälle ausreichenden Genauigkeit ebenfalls auf indirektem Wege gemessen werden. Durch den warmen und festgekeilten Anker läfst man bei nicht erregtem Magneten einen bekannten Strom i, am besten aus einer Akkumulatorenbatterie, fliefsen und bestimmt die Spannungsdifferenz e_0 zwischen den Bürsten. Der Ankerwiderstand, einschliefslich des Übergangswiderstandes zwischen den Bürsten und dem Anker, ist dann $e_0/i\ \Omega$. Bei mehrpoligen Ankern mit Parallelschaltung nimmt man zur Stromzuführung und Ableitung bei dieser Messung nur zwei diametral liegende Bürsten, während die übrigen Bürsten abgehoben sind. Ist r der Widerstand zwischen den beiden Bürsten, und bezeichnen wir den Widerstand jedes Ankerstromzweiges mit w, so ist bei $2\,p$-Polen für die Schaltung während der Messung

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{p\,w} + \frac{1}{p\,w}, \quad \text{also } r = \frac{p \cdot w}{2}$$

(Vergl. § 16). Da im Betriebe $2\,p$ Ankerstromwege parallel geschaltet sind,

von denen jeder den Widerstand w hat, so ist der Ankerwiderstand $w_a = \frac{w}{2p}$ oder $w = \frac{r}{p^2}$.

Vor der Messung ist der Kollektor zu reinigen, so daſs die Bürsten mit geringstem Widerstande aufliegen. Zweckmäſsig beobachtet man für verschiedene Stellungen der diametral liegenden Bürsten, um unregelmäſsige Übergangswiderstände zu eliminieren. Dabei sollen die Bürsten gut eingelaufen sein.

Die Prüfung der Dynamo muſs sich ferner auf die Messung der Temperatur des Ankers und der Magnetspulen nach mehrstündigem Betriebe bei voller Belastung erstrecken. Hierfür gelten auch die auf S. 138 erwähnten Bestimmungen über die Temperaturerhöhung.

Im Betriebe dürfen Überlastungen der Dynamo nur so kurze Zeit und nur bei solcher Temperatur der Maschinen stattfinden, daſs die auf S. 138 angegebene Grenze der Erwärmung nicht überschritten wird. Im allgemeinen ist zu fordern, daſs Dynamos, die um 25 Proz. während einer halben Stunde überlastet sind, nicht über die vorgeschriebene Temperatur hinaus sich erwärmen.

2. Indikatormethode. Wenn die Dynamo von der Dampfmaschine direkt angetrieben wird, und die Verbindung zwischen beiden nicht gelöst werden kann, so muſs der Wirkungsgrad ohne Rücksicht auf die Reibung ermittelt werden. Die Verluste durch Hysteresis und Wirbelströme werden bei leer laufender Dynamo dadurch bestimmt, daſs man die Leistung der Dampfmaschinen bei erregtem und bei nicht erregtem Magneten durch Indikatordiagramm feststellt. Bei diesen Messungen muſs der Anker seine normale Tourenzahl haben, und bei erregtem Felde muſs sich die normale Polklemmenspannung ergeben. Liefert die Dampfmaschine den zur Erregung der Magnete erforderlichen Strom, so wird die hierfür verbrauchte Leistung in Abzug gebracht. Die Differenz stellt den durch Wirbelströme und Hysteresis bei Leerlauf bedingten Verlust dar; dieser Verlust wird als unabhängig von der Belastung der Dynamo angesehen. Die Energieverluste im Anker und in den Magnetspulen bei normaler Belastung werden wie vorher ermittelt. Der im Nebenschluſsregulator entstehende Verlust wird dem in den Magnetspulen auftretenden zugerechnet. Die Summe der genannten Verluste bezeichnet man als „meſsbaren Verlust“. Der Wirkungsgrad ist dann das Verhältnis der Nutzleistung zur Summe von Nutzleistung und meſsbarem Verlust.

Diese Methode ist nur mit groſser Vorsicht wegen der bei Leerlaufsdiagrammen auftretenden Ungenauigkeiten zu gebrauchen.

§ 110. Beschreibung specieller Dynamos.

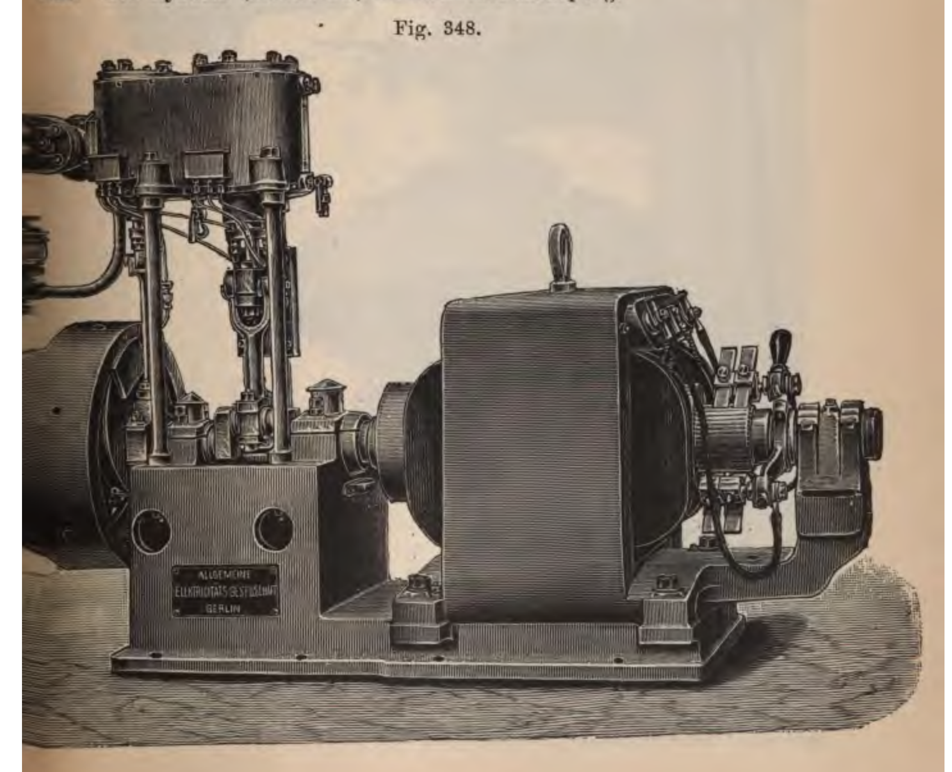
1. Dyna[illegible] Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin. Fig. 348 [illegible] Modell DD der Eincylinder-Dampfdynamomaschine dar. Die Dyn[illegible] zweipolig (Type NG).

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung über Gröfse, Leistung, Kraftbedarf u. s. w.

se	Cylinderdurchmesser mm	Hub mm	Gesamtfüllungsgrad in Proz.	Stündlicher Dampfverbrauch in kg pro indiz. P. S.		Modell der Dynamo	Spannung in Volt	Stromstärke in Ampère	Gesamtleistung in Watt ca.	Umdrehungen pro Minute	Kraftbedarf in P. S.	Gewicht der kompletten Dampfdynamo	
				mit Kondens.	ohne Kondens.							netto ca. kg	brutto ca. kg
50	120	100	20—30	13,5	17	N.G. 50	65	60	3900	750	6,2	900	1300
							110	30	3300	650	5,3		
75	150	100	20—30	13,5	17	N.G. 75	65	75	4875	580	7,5	1240	1700
							110	37	4070	500	6,5		
00	170	120	20—30	13	16,5	N.G. 100	65	100	6500	500	10,5	1720	2280
							110	50	5500	470	9		
25	170	140	20—30	12,9	16,4	N.G. 125	110	61	6710	480	11	2160	2720

Fig. 349 (a. f. S.) stellt das Modell CSD der Compound-Dampfdynamo dar. Die Dynamo (Modell SG) ist vier- oder mehrpolig.

Fig. 348.



In der Tabelle S. 271 sind die Gröfsen, Leistungen und Gewichte der Dampfdynamos Modell CSD zusammengestellt.

2. Dynamos von Siemens und Halske, A.-G., Berlin. Die Gleichstromdynamos, Modell EA und LA (Fig. 350), besitzen meist Nebenschlufswickelung, können auch mit gemischter Bewickelung der Magnete geliefert werden.

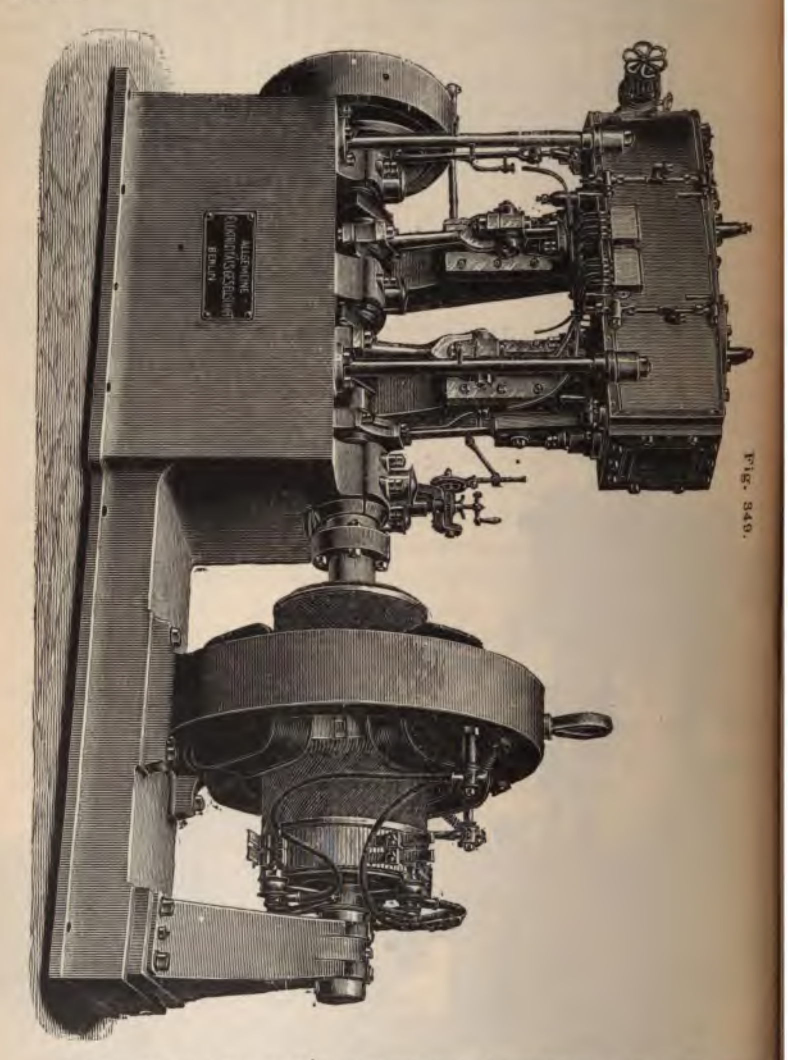


Fig. 349.

Die in der Tabelle S. 272 angegebenen Leistungen gelten für Da[...]betrieb und zwar bei höchster Tourenzahl; Leistung und Kraftbedarf änd[...] sich proportional der Tourenzahl. Die in der Tabelle angegebene Spann[...] kann nur bei der höchsten Tourenzahl erreicht werden, bei niedrigerer Tour[...]zahl sinkt die erreichbare höchste Spannung proportional der Tourenzahl.

Gröfse	Cylinder-durch-messer mm	Hub mm	Gesamt-füllungsgrad in Proz. etwa	Dampfverbrauch in Kilogramm pro indiz. P.S.		Modell der verwendeten Dynamo-maschine	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.	Gesamtleistung in Watt etwa	Umdrehungen in der Minute etwa	Kraftbedarf P.S. etwa	Gewicht der kompletten Dampf-Dynamo-maschine	
				mit Kondensation	ohne Kondensation							netto etwa kg	brutto etwa kg
CSD 150	130/220	140	10—15	10	13,8	SG 150	65	167	10 850	480	18,5	2 010	2 700
							120	84	10 080	500	17		
CSD 200	140/230	140	10—15	9,6	13,2	SG 200	65	225	14 625	450	23,5	2 760	3 700
							120	112	13 440	440	21,5		
CSD 300	190/310	160	10—15	9,3	12,8	SG 300	65	300	19 500	400	31	3 510	4 700
							120	150	18 000	390	29		
CSD 400	200/330	180	10—15	9	12,5	SG 400	65	400	26 000	360	41,5	4 610	6 000
							120	200	24 000	355	37,5		
CSD 500	230/370	200	10—15	9	12,5	SG 500	65	500	32 500	335	50	5 340	6 900
							120	250	30 000	310	47		
CSD 600	260/420	200	10—15	8,8	12,2	SG 600	120	335	40 200	320	62	6 000	7 800
CSD 700	280/470	220	10—15	8,7	12	SG 700	120	545	65 300	380	100	7 700	10 000
CSD 800	330/530	250	10—15	8,6	11,8	SG 800	120	540	64 800	250	100	8 950	11 600
							240	270	64 800	250	100		
CSD 1000	370/600	300	10—15	8,4	11,5	SG 1000	120	700	84 000	200	127	12 300	16 000
CSD 1000	370/600	350	10—15	8,3	11,4	SG 1000	240	415	100 000	175	150	16 200	21 000
CSD 1250	400/650	350	10—15	8,2	11,2	SG 1250	120	975	116 000	200	175	13 200	23 600
							240	490	116 000	200	175		

Modell	Höchste Tourenzahl pro Min.	Bei höchster Tourenzahl: Leistung Kilowatt	Kraftbedarf (ausschliefslich Lagerreibung) P.S.	Wirkungsgrad (ausschliefslich Lagerreibung) etwa Proz.	höchste Spannung Volt	höchste Stromstärke Ampère	Gewicht der ganzen Dynamo netto kg	Gewicht der ganzen Dynamo brutto kg	Gewicht des Ankers netto kg	Gewicht des Ankers brutto kg
Gleichstrom-Dynamos Modell EA:										
EA 11 . . .	750	2,5	4,5	75	110	60	200	250	85	110
EA 14	750	5	9	77	110	60	340	400	150	180
EA 17	550	7	12	80	110	90	750	850	320	370
Gleichstrom-Dynamos Modell LA:										
LA 20	450	12	18,5	84	150	150	1000	1100	420	480
LA 25	450	16	24,5	86	150	180	1100	1200	470	540
LA 28/11 . . .	400	20	30,5	88	200	210	1200	1350	510	600
LA 28/16 . . .	350	25	38	89	250	210	1300	1450	550	650
LA 28/20 . . .	350	34	51	89	300	210	1500	1700	640	750
LA 32	350	45	67	90	350	250	1800	2250	770	920
LA 36	350	60	90	91	400	350	2100	2800	900	1060
LA 42	350	80	118	92	500	400	2600	3500	1100	1300

Fig. 350 zeigt die Ausführung mit Sattel, einem Lagerbock und Welle, uf dem Fundamentrahmen der Betriebsmaschine montiert.

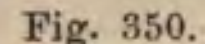


Fig. 350.

3. **Dynamos der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft für direkte uppelung.** Gleichstrommaschinen für direkte Kuppelung mit der Betriebsaschine werden im allgemeinen bis einer Leistung von 150 K W in der usführungsform M P (Fig. 351) geefert.



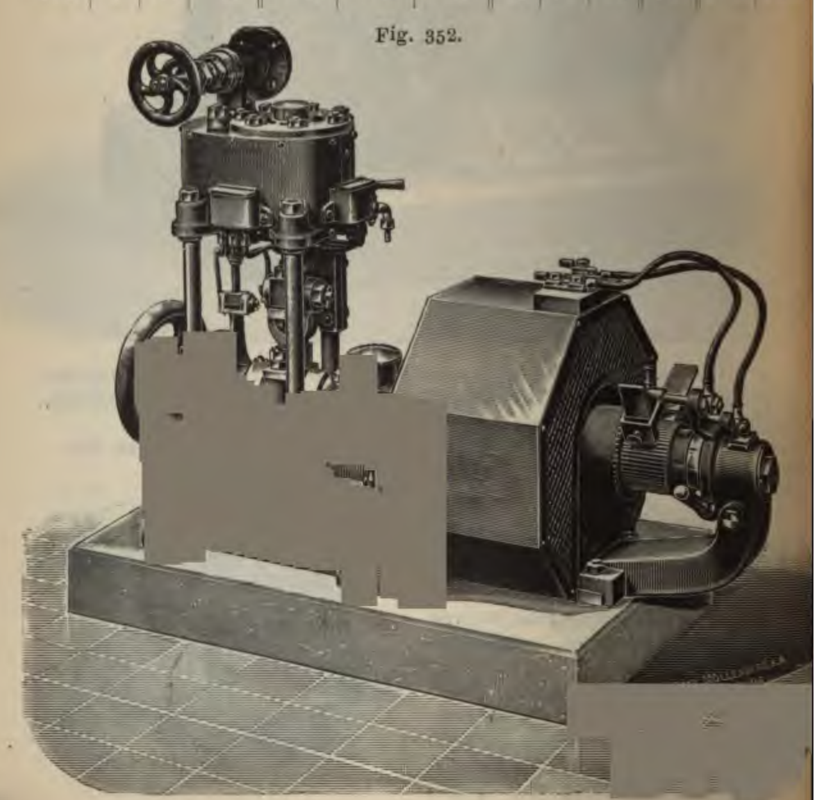
Fig. 351.

In der nachfolgenden Tabelle sind r die Maschinen der Type MP bei eistungen von 25 KW bis 150 KW e Leistung, Umdrehungszahl des nkers und der Wirkungsgrad bei verhiedenen Belastungen zusammenestellt.

Die Stromabnahme erfolgt durch ohlenbürsten. Die Maschinen zeichnen h durch gedrängte Bauart, geringen aumbedarf und durch hohen Nutzekt aus, ferner durch eine grofse

Bezeichnung				Bei Normalspannung und Volllast			Wirkungsgrad bei Belastung in Prozenten			Kraftbedarf in P. S.	Gewicht in Kilogramm	
Type	Polzahl	K W	Umdrehungen in der Minute	Leistung in K W	Umdrehungen in der Minute	Stromstärke in Ampère	$^1/_1$	$^3/_4$	$^1/_2$		Anker	Gesamt als Ausführungsform IX
Normalspannung 115 Volt.												
M P	6	25	275	25	300	218	91	90	85	38	700	2100
M P	6	40	240	40	240	350	91	90	85	60	900	2700
M P	6	50	180	50	180	435	91	90	85	75	1300	4200
M P	6	75	180	75	180	650	92	91	87	111	2300	5700
M P	8	100	225	100	225	870	92	91	87	148	2400	5800
M P	8	100	180	100	180	870	92	91	87	148	2500	5900
M P	8	100	150	100	150	870	92	91	87	148	2900	7000
M P	8	150	150	150	150	1300	93	92	89	220	4400	11000

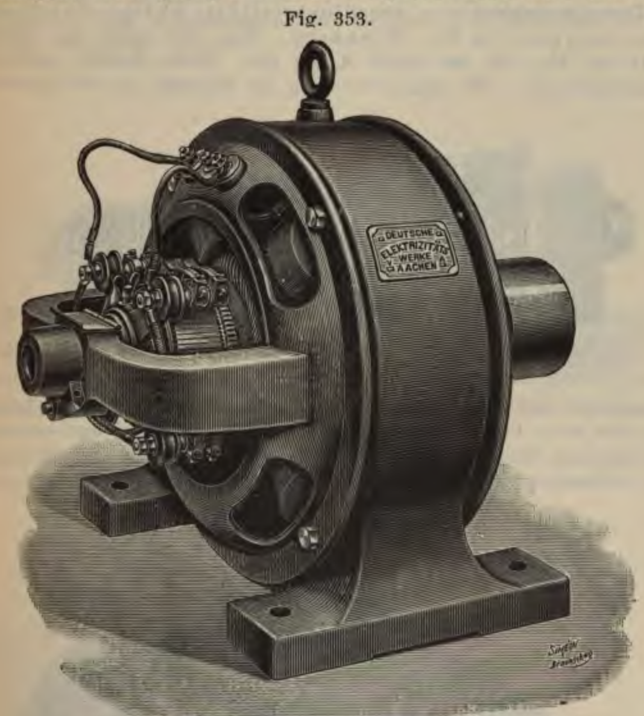
Fig. 352.



Überlastungsfähigkeit bei mäfsiger Erwärmung. Bei den Maschinen der Type MP wird das Magnetgestell aus zwei Teilen hergestellt, dies geschieht stets für Magnetgestelle von mehr als 1000 mm Durchmesser.

4. Dynamomaschinen von G. Conz, Hamburg, Elektrizitäts-Gesellschaft m. b. H. Die Dynamos, sowie die Motoren, sind ausschliefslich aus Stahlgufs angefertigt und haben bei niedriger Tourenzahl sehr kleine Abmessungen, sowie geringes Gewicht bei grofser elektrischer Leistung; sie

Fig. 353.



sind daher in engen Räumen, auf Schiffen sehr gut verwendbar. Durch die Wahl des Mantel-Typus ist die Streuung der Kraftlinien auf das geringste Mafs reduziert, auch sind die empfindlichen Teile (Anker, Magnetspulen) vor Beschädigungen geschützt, während Lager und Kollektor leicht zugänglich sind. Der sorgfältig mit Glimmer isolierte Kollektor ist aus einer besonderen Komposition hergestellt, so dafs er wenig abgenutzt wird. Die Anker werden als Trommel- und als Ringanker ausgeführt.

Fig. 352 stellt den Normaltypus (2,5 P.S.) der Dampfdynamos auf Torpedobooten dar. Die Dampfmaschinen werden bei kleineren Ausführungen und geringem Dampfdruck eincylindrig, bei gröfseren Ausführungen und gröfserem Dampfdruck zweicylindrig als Zwillings- und als Verbundmaschinen gebaut. Der Anker der Dynamo kann behufs Revision oder zum Abdrehen des Kollektors sehr leicht aus der Maschine herausgenommen werden und zwar durch Lösen einer einzigen Verschraubung.

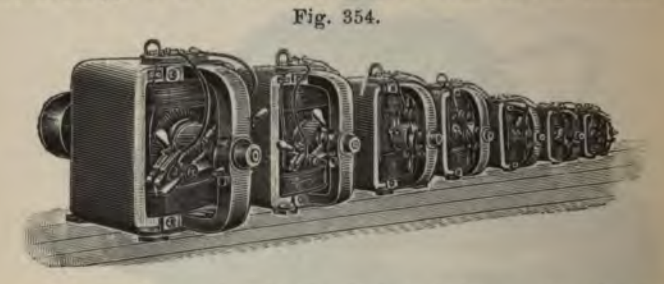
5. Dynamomaschinen der Deutschen Elektrizitätswerke zu Aachen, Garbe, Lahmeyer u. Co. in Aachen. Die Gleichstrommaschinen

der D. E. W. Aachen sind Aufsenpolmaschinen; die kleinen sind zweipolig, bis etwa 70 K. W. vierpolig und bei grofsen Leistungen acht- und mehrpolig. Das Magnetsystem umschliefst die ganze Maschine und schützt somit in einfacher und wirksamer Weise die verschiedenen Wickelungen.

Fig. 353 stellt eine vierpolige Nebenschlufsdynamo, Modell V 17 bis 160, dar, die auch in direkter Kuppelung mit einer eincylindrigen oder Compound-Dampfmaschine verbunden wird.

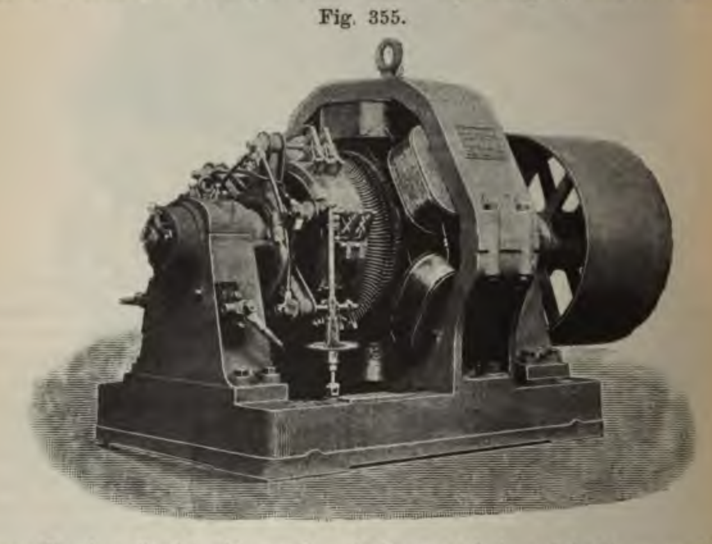
6. **Dynamomaschinen der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert u. Co., Nürnberg.** Fig. 354 stellt das Modell A $^1/_{10}$ bis 14 und Fig. 355 das Modell A 100 dar. Beide Modelle gehören zu dem Aufsenpoltypus. Die Ankerwickelung ist meistens als Trommelwicke-

Fig. 354.



lung ausgeführt und zwar besteht dieselbe bei mittleren und grofsen Dynamos entweder aus einer Lage rechteckiger Stäbe (Stabwickelung) und evolventenförmig gebogenen Blechen, durch die je zwei Stäbe an den Stirnflächen miteinander verbunden werden, oder, bei hohen Spannungen, aus einer Anzahl

Fig. 355.



rahmenförmiger Spulen, die vor dem Auflegen auf einer Schablone gewickelt und dann sorgfältig isoliert werden. Die Bleche und Drähte an den Stirnflächen sind frei durch die Luft geführt und bilden einen ventilatorähnlichen Körper, durch den während des Betriebes die Luft mit grofser Geschwindigkeit hindurchstreicht, wodurch eine wirksame Kühlung erzielt wird.

Besonders beachtenswert sind die sogenannten Doppelbürsten, die die Vorteile der Kohle inbezug auf geringe Funkenbildung mit denjenigen der Metallbürste inbezug auf grofses Leitungsvermögen vereinigen, und die Funkenbildung überhaupt nicht zustande kommen lassen. Die Doppelbürste besteht aus einer Metallbürste und einem an demselben Halter befestigten und auswechselbaren Kohlekontakt, der unmittelbar vor dem vorderen Rande der Metallbürste auf dem Kollektor aufliegt.

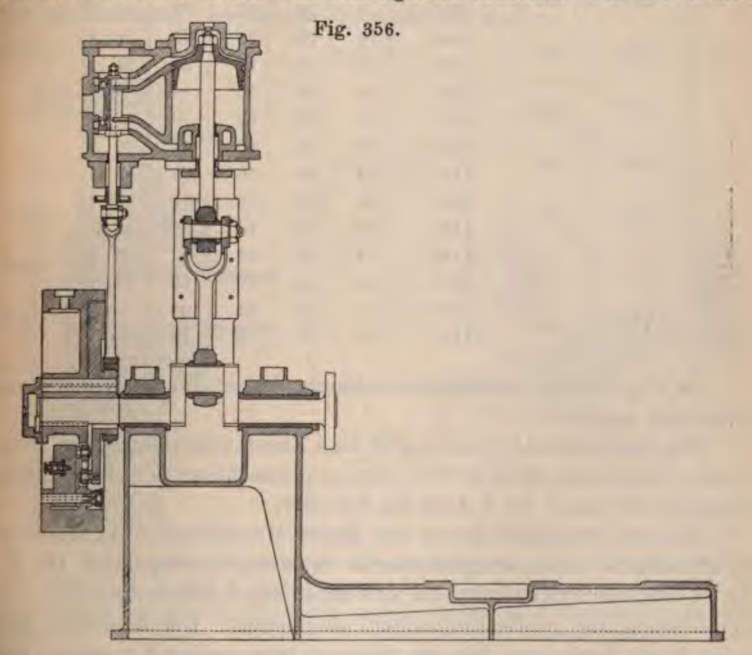
Bei kleinen Maschinen besteht das Magnetgestell aus einem Stücke, bei gröfseren aus zwei zusammengepafsten Hälften. Das Magnetgestell wird aus weichstem Flufseisen gegossen.

Zwölftes Kapitel.

Betriebsmaschinen.

§ 111. Dampfmaschinen. Bei der Einführung der elektrischen Beleuchtung auf Schiffen entwickelte sich das Bedürfnis, Dampfmaschinen zu konstruieren, die zur direkten Kuppelung mit den Dynamos mit einer hohen Umdrehungszahl arbeiten. Für den Betrieb

Fig. 356.



er Dynamos ist dabei die Anwendung eines in allen Lagen sicher nktionierenden Regulators erforderlich.

Wir geben im Nachfolgenden die Skizzen und I Dampfmaschinen.

1. **Dampfmaschinen der Kieler Maschinenb Gesellschaft vormals C. Daevel.** In der nachfolge sind die Dimensionen und Leistungen der eincylindrig bei verschiedenen Tourenzahlen und den Dampfspannunge zusammengestellt:

Nr.	Cylinderdurchmesser mm	Hub mm	Umdrehungen pro Minute	Normalleistung in effekt. P ohne Kondensation bei ei Dampfspannung 4 Atmosphären im Schiebe	5	6	7	
1	100	100	600	3	3,5	4	4,5	
			400	2	2,4	2,7	3	
2	125	100	600	4,5	5,5	6	—	-
			400	3	3,7	4	—	-
3	150	150	400	7	8	9	10	1
			300	5	6	7	8	
5	200	200	300	12	14	16	18	2
			225	9	10	12	13	1
7	250	250	240	19	22	25	28	3
			180	14	16	19	21	2
8	275	250	240	23	26	30	—	-
			180	17	19	22	—	-
9	300	300	220	30	35	40	46	5
			155	23	26	30	34	3
11	350	350	200	46	52	59	67	7
			150	34	39	44	50	5
13	400	400	180	62	72	81	92	10
			135	46	54	60	69	7
14	425	400	180	71	81	92	104	-
			135	53	61	59	78	-

In Fig. 356 ist eine Schnittzeichnung dieser eincylin maschinen gegeben.

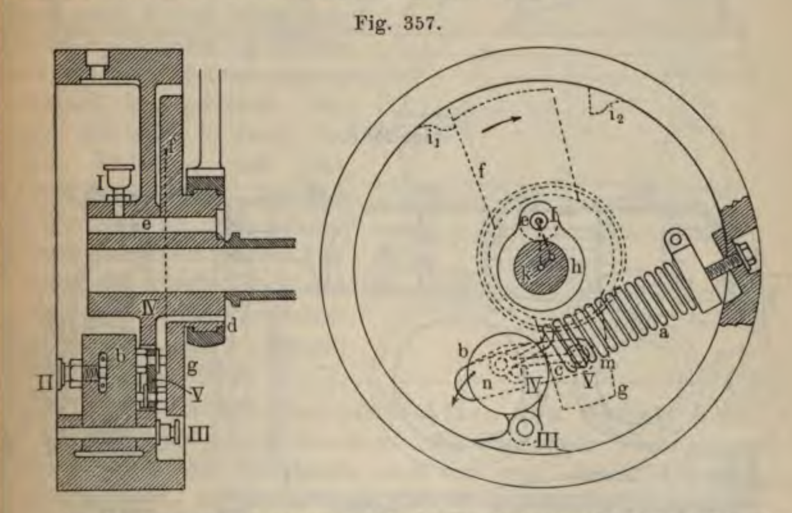
Die nachfolgende Tabelle gibt eine Zusammenstellun sionen, Leistungen u. s. w. der Compoundmaschinen für e Dampfdruck von 7 bis 8 Atm. im Schieber.

Bei den Dampfmaschinen der Kieler Maschinenbau- schaft kommt auch der patentierte Schwungrad-Regul Nr. 74769) zur Anwendung, der sich durch seine aufserord Regulierung und grofse Einfachheit auszeichnet. Der Re flufst durch Verdrehen des den Schieber bewegenden Exc sowohl der Hub als auch der Voreilwinkel des Excenters v die Verteilung des Dampfes im Cylinder (Fig. 357).

Touren pro Minute	Maximal-leistung	Cylinder-durch-messer	Hub	Regu-lator	Raumbedarf der Dampfmaschine			Unge-fähres Gewicht
					Länge	Breite	Höhe	
t. p. m.	eff. HP.	mm	mm	Art	mm	mm	mm	kg
550	8	100.170	100	Pröll	1100	600	950	530
500	10	100.170	120	„	1200	700	1000	680
500	15	120.200	140	„	1450	800	1050	1020
450	20	140.230	160	„	1500	850	1100	1170
450	25	160.260	160	„	1550	850	1150	1420
450	30	180.290	160	„	1600	900	1200	1560
450	35	190.310	160	„	1650	900	1200	1760
425	45	200.330	180	„	1800	950	1250	1950
425	55	230.370	180	„	1850	950	1300	2240
350	70	260.420	200	„	1950	1000	1500	2930
300	90	300.470	250	„	2150	1200	1800	3920
250	100	310.510	300	„	2350	1500	2100	4900

Eine Gelenkstange c ist einerseits durch den Zapfen m mit dem an das Excenter angeschlossenen Trägheitsgewicht g und andererseits durch den Zapfen n mit dem durch die Feder a gehaltenen Gewichte b in Verbindung. Schlägt bei Überschreitung der normalen Tourenzahl das Gewicht b aus, so muſs das Excenter d um den Zapfen e gedreht werden.

Fig. 357.



An das Excenter ist auſser g noch das Trägheitsgewicht f angeschlossen; beide Gewichte, f und g, bilden zusammen einen Momentregulator, der den Centrifugalregulator bei plötzlicher und bedeutender Änderung der Leistung unterstützt und einen gröſseren Tourenunterschied vermeiden soll. Durch die Knaggen i_1 und i_2 wird der Anschlag des Regulators begrenzt.

Während der Centrifugalregulator durch Zu- und Abnahme der Centrifugalkraft betätigt wird, wirkt der Momentregulator durch seine Trägheit

Macht z. B. die Maschine die der Mittelstellung des Regulators entspreche
Tourenzahl und wird plötzlich die Belastung erheblich vermindert, so

Fig. 358 a.

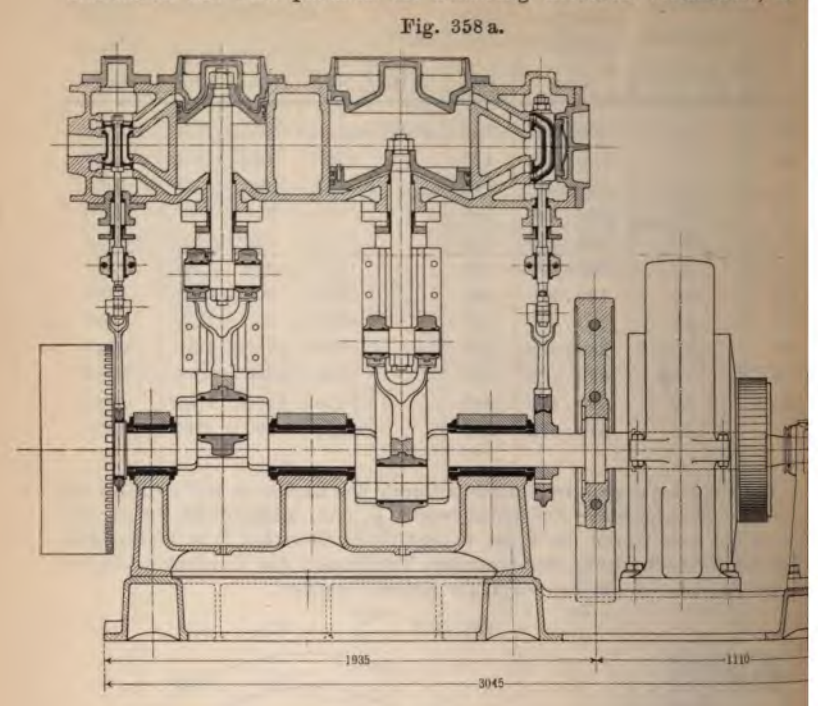
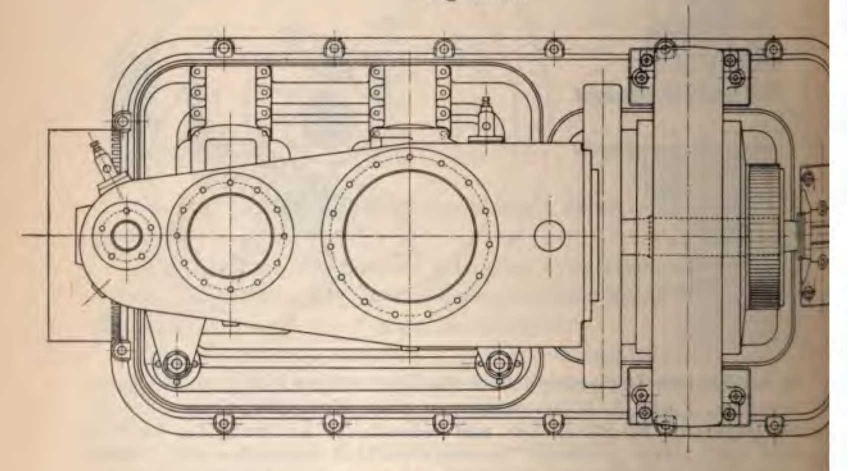


Fig. 358 b.



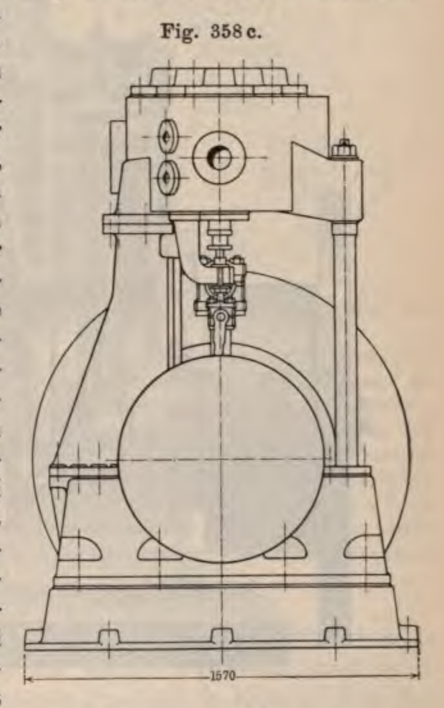
steht augenblicklich eine Erhöhung der Winkelgeschwindigkeit. Die Trä
heitsgewichte f und g würden zunächst an dieser Steigerung der Wink

schwindigkeit nicht teilnehmen, sondern bei der Drehung etwas zurück-
iiben, bis sich f an i_2 legt. Dabei wird das Excenter in der Pfeilrichtung
rdreht.

Gleichzeitig tritt aber auch der Centrifugalregulator in Tätigkeit, indem
s Gewicht b in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung ausschlägt,
bei ebenfalls, und zwar in dem gleichen Sinne wie durch den Moment-
gulator, das Excenter verdreht wird. Der Momentregulator soll der Haupt-
che nach den Centrifugalregulator bei grofsen Änderungen der Belastung
iterstützen.

2. Dampfmaschinen der Maschinenfabrik J. Frerichs u. Co.
i Osterholz-Scharmbeck. In Fig. 358 ist eine Compoundmaschine
irgestellt von 350 und 555 mm
ylinderdurchmesser und 260 mm
ub. Vier dieser Maschinen
nd für die elektrischen An-
gen auf dem Schnelldampfer
Kronprinz Wilhelm" geliefert,
ıd fünf Maschinen derselben
rt werden für den noch im
ıu befindlichen Schnelldampfer
Kaiser Wilhelm II." des Nord-
utschen Lloyd hergestellt. Die
aschinen sind mit Achsenregu-
toren nach Patent Stein aus-
rüstet und arbeiten im Nieder-
ack mit etwa 20 Proz. und im
chdruck bei gröfseren Fül-
ıgen mit etwa 14 Proz., bei
inen Füllungen mit etwa
Proz. Kompression. Die Fül-
ıg wird, wie bei allen Achsen-
gulatoren, direkt durch Ver-
lerung des Voreilwinkels und
Excentrizität am Hochdruck-
enter, vom Regler bewirkt
ischen 0 und 55 Proz.

Fig. 358 c.

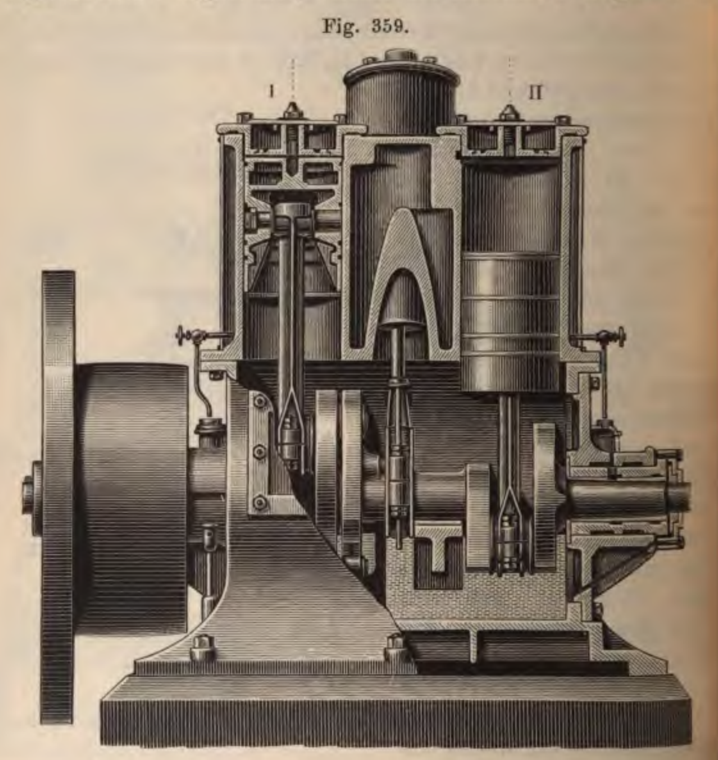


3. Westinghouse-Dampfmaschinen von Garrett Smith
d Co. in Magdeburg-Buckau. Die Hochdruck-Westinghouse-
schine besteht der Hauptsache nach aus zwei einfach wirkenden
tikalcylindern, zwischen denen sich ein gemeinschaftlicher Steue-
gscylinder befindet, dessen Kolbenschieber direkt vom Regulator
influfst wird. Die beiden Dampfcylinder (Fig. 359) sind mit
ı Schiebercylinder in einem Stück gegossen und auf dem Kurbel-
lenkasten befestigt, in dem die Kurbelwelle in einem Ölgemisch
ft. Die Cylinder werden oben durch Deckel geschlossen, während
nach unten offen sind. In der Maschine ist keine Stopfbüchse vor-

handen. Die Kolben haben zur Vermeidung der Kondensat[illegible] doppelte Wandungen und sind mit vier Dichtungsringen verseh[illegible] Die Führung des vollkommen ausbalancierten Kolbenschiebers [illegible] ebenfalls cylindrisch und mit einfachen gufseisernen Ringen gedicht[illegible]

Der Regulator sitzt auf der Welle und wirkt direkt auf d[illegible] Schieber ein. Auf der Scheibe A (Fig. 360) ist der um den Zapfen [illegible] bewegliche Arm c angeordnet, welcher das Excenter C trägt. Letzter[illegible]

Fig. 359.



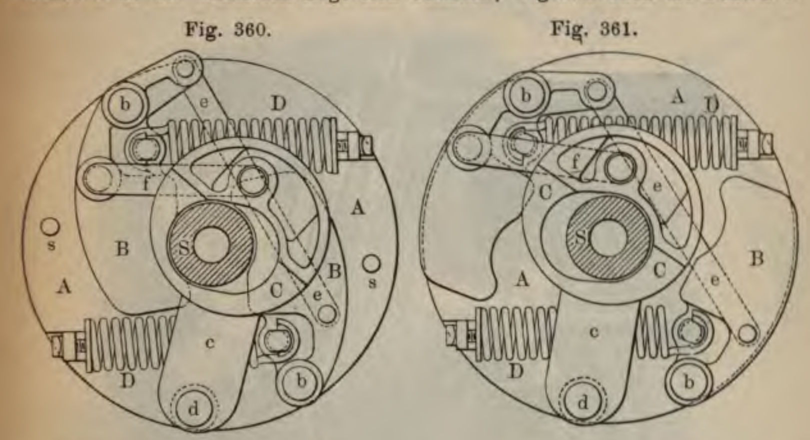
ist durch den Arm f mit einem der Gewichtsgelenke fest verkuppelt. Die die Regulatorgewichte B tragenden Gelenkarme sind in den Zapfen [illegible] drehbar und so durch den Arm e miteinander verbunden, dafs sie zu[illegible]sammen wirken müssen. D sind starke Spiralfedern aus Stahl, die mit dem einen Ende an der Scheibe A, mit dem anderen an den Ge[illegible]wichten B befestigt sind. Die Anschlagstifte s begrenzen den Hub der Gewichte B.

Fig. 360 zeigt die Regulatorgewichte B und die Spiralfedern D in der Ruhelage, wobei das Excenter C die gröfste Excentrizität hat, u[illegible] Steuerungskanäle für Dampfein- und -auslafs während $^3/_4$ des Hubes g[illegible] sind. Das Excenter bleibt in dieser Stellung, bis die normale Gesch[illegible] keit bis auf 1 Proz. erreicht ist. Von nun an beginnt die Centrifug[illegible]

der Regulatorgewichte B den Zug der Spiralfedern D zu überwinden, die Gewichte B heben sich so weit, bis Centrifugalkraft und Federspannung einander das Gleichgewicht halten.

Fig. 361 zeigt die Stellung der geringsten Excentrizität, wobei die Gewichte B in der äufsersten Lage sich befinden, zugleich auch die Federn D

Fig. 360. Fig. 361.



am stärksten gespannt sind. Für diese Stellung beim Leerlauf sind die Dampfkanäle beinahe ganz geschlossen.

Bei der normalen Belastung, bei der die Cylinder 20 bis 25 Proz. Füllung erhalten, liegt das Excenter C in der Mittelstellung. Der Regulator ist ferner so justiert, dafs er die in Fig. 360 dargestellte Ruhelage so lange behält, bis die Tourenzahl der Maschine nur 1 Proz. geringer als die normale ist. Der Regulator geht aber in die Stellung Fig. 361 über, wenn die Tourenzahl um 1 Proz. die normale überschreitet. Dementsprechend ergibt sich zwischen Leerlauf und maximaler Belastung eine Geschwindigkeitsänderung von 2 Proz. Dieser Gleichförmigkeitsgrad ist besonders wichtig für den elektrischen Lichtbetrieb und macht die Dampfmaschinen für den direkten Antrieb der Dynamos sehr geeignet.

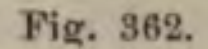
§ 112. Dampfturbinen, System de Laval der Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln. Für Deutschland nebst Kolonieen ist die Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln der alleinige Licenzinhaber der de Lavalschen Dampfturbinen, sowie Vertreter der Aktiebolaget de Lavals Ångturbin, Stockholm.

Die de Lavalsche Dampfturbine ist eine schnelllaufende, rotierende Dampfmaschine, die besonders zur direkten Kuppelung mit Dynamos, Centrifugalpumpen u. s. w. geeignet ist. Fig. 362 gibt ein perspektivisches Bild des Dampfturbinenrades mit den Dampfstrahldüsen.

In Fig. 363 ist ein Schnitt durch eine Dampfturbine von 10 P. S., System de Laval, gegeben.

Der Dampf strömt vom oberen Zuleitungsrohr durch das Absperrventil in den ringförmigen Kanal, mit welchem die Dampfstrahldüsen in Verbindung stehen. Das Turbinenrad mit verhältnismäfsig geringem

Durchmesser ist auf einer federnden Welle von 9 bezw. 14 mm Durchmesser befestigt. Alle heftigen Vibrationen der Welle hören auf, und der Gang der Maschine wird ruhig und geräuschlos, sobald die soge-


Fig. 362.



nannte **kritische** Geschwindigkeit überschritten wird. Auf der federnden Welle *A* (Fig. 364) befindet sich der Trieb *C*, der in das auf der Triebwelle *N* sitzende Wechselrad *M* eingreift. *B* ist das Turbinenrad. *D* Endlager, *E* Sicherheitslager im Turbinengehäuse, *F* Zwischenlager, *G* Sicherheitslager im Deckel des Turbinengehäuses, *H* Kugellager mit Druckfeder, *J* Dampfdüse, *L* Absperrventil mit Handrad. *Q* Centrifugalregulator.

Unter den vielen Vorzügen der Dampfturbinen sei besonders für den elektrischen Lichtbetrieb die leichte Regulierung der Geschwindigkeit hervorgehoben.

In den Fig. 365 und 366 sind Geschwindigkeitsdiagramme, die mit **Horns** selbsttätigem Tachographen aufgenommen sind, wiedergegeben, und zwar stellt Fig. 365 die beobachteten Geschwindigkeitsänderungen einer **de Laval**schen Dampfturbinendynamo ohne Kondensation bei der normalen Leistung 135 P. S. und der normalen Tourenzahl 1050 pro Minute dar. Fig. 366 gibt die beobachteten Geschwindigkeitsänderungen eines **de Laval**schen Dampfturbinenmotors mit Kondensation, bei der normalen Leistung 100 P. S. und der normalen Tourenzahl 1050 Umdrehungen pro Minute. Die Entfernung zweier nebeneinander liegender Horizontalen entspricht dabei einer Geschwindigkeitsänderung um 5 Proz.

Mittels abschließbarer Dampfdüsen kann die Zuströmung des Dampfes, während die Maschine im Betriebe ist, annähernd der Belastung angepaßt

erden, so dafs das Regulatorventil zur genauen Regulierung der Geschwindig-
eit den Dampfdruck nicht erheblich zu reduzieren braucht. Der Leerlaufs-

Fig. 363.

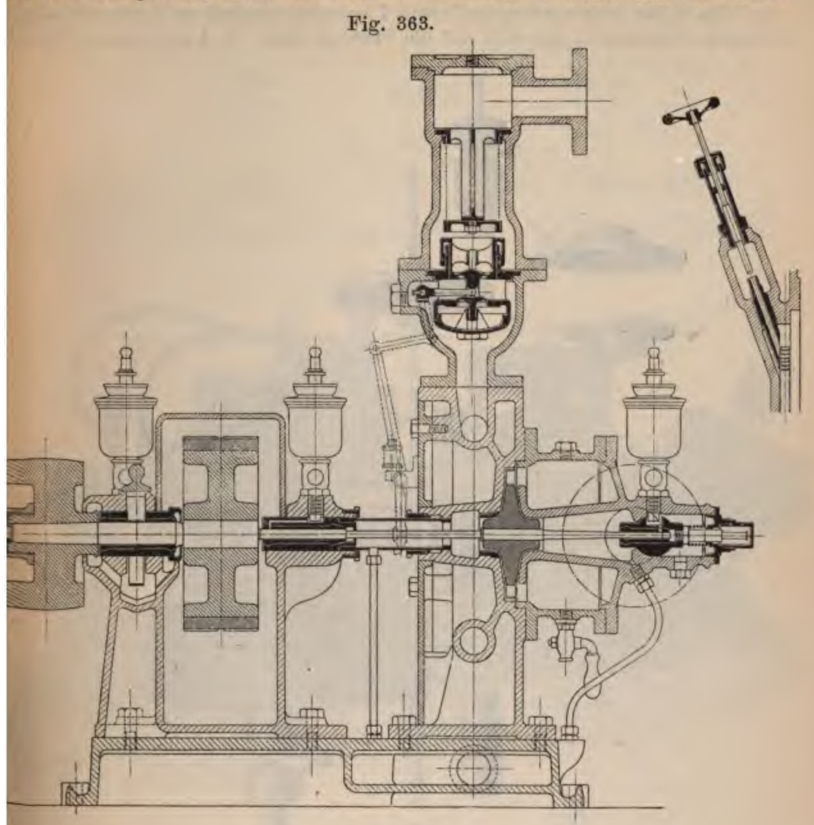


Tabelle I.

ummer der rsuchs-reihe	Anzahl der geöffneten Düsen	Touren-zahl pro Minute	Dampf-überdruck in kg pro qcm	Vakuum in mm Queck-silbersäule	Gebremste Pferde-stärken	Dampfver-brauch pro gebremste P.S. pro Stunde
		(Durchschnitt von 5 Beobachtungen)				
1	7	1057,2	8,00	670	165,3	7,87
2	6	1054,4	8,22	658	140,3	8,16
3	5	1057,0	8,00	666	116,1	8,01
4	4	1058,8	8,04	674	89,5	8,36
		(Durchschnitt von 3 Beobachtungen)				
5	3	1060,7	7,90	685	65,0	8,49
6	2	1057,0	8,17	652	38,0	9,98

widerstand der Turbinen ist nur gering, so dafs auch bei geringer Belastu
sich ein guter Nutzeffekt ergibt.

Die in der vorhergehenden Tabelle I zusammengestellten Werte sind eine
Berichte entnommen, der sich auf die Prüfung einer de Lavalschen Damp



Fig. 364.

turbine von 150 P. S. bezieht. Die Arbeit für den Kondensator
nicht mitgerechnet, sie nimmt etwa 4 bis 7 Proz. von dem vollen Ein
Maschine in Anspruch.

Der Feuchtigkeitsgrad des Dampfes betrug dabei 1,8 Proz.

Fig. 365.

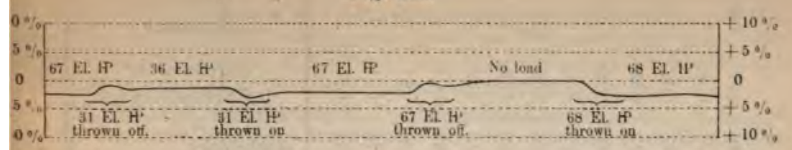


Fig. 366.

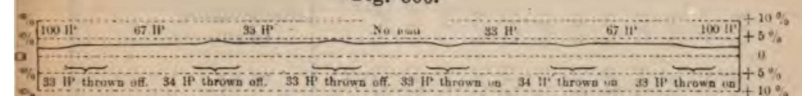


Fig. 367.



Fig. 368.

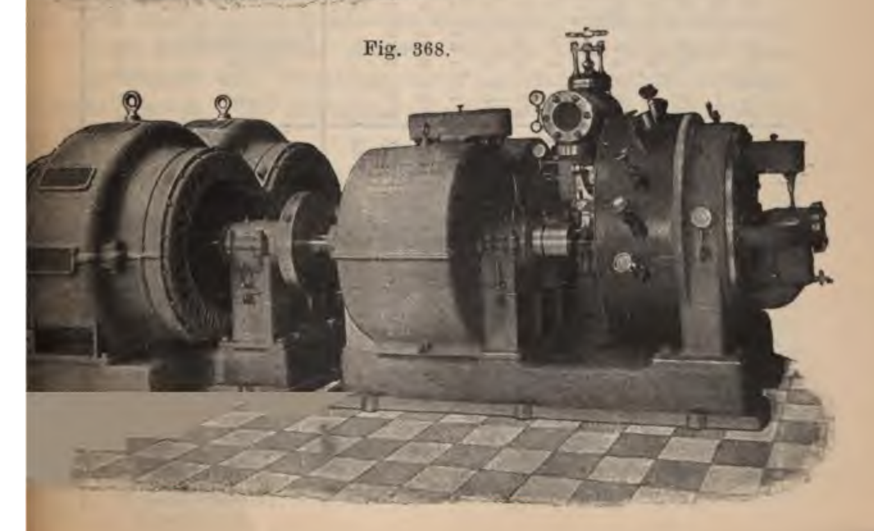


Tabelle II.

Dampfüberdruck in der Turbine in Kilogramm pro Quadratcentimeter

Effektive Pferdestärke	Durchmesser des Schaufelrades	3 Hochdruck	3 Kondensator 64 cm	3 70 cm	5 Hochdruck	5 Kondensator 64 cm	5 70 cm	7 Hochdruck	7 Kondensator 64 cm	7 70 cm	8 Hochdruck	8 Kondensator 64 cm	8 70 cm	10 Hochdruck	10 Kondensator 64 cm	10 70 cm	12 Hochdruck	12 Kondensator 64 cm	12 70 cm	15 Hochdruck	15 Kondensator 64 cm	15 70 cm	Effektive Pferdestärke
3	100	35	—	—	29,0	—	—	26,0	—	—	25,0	—	—	23,7	—	—	22,7	—	—	21,3	—	—	3
5	100	35	19,0	17,3	29,0	17,7	16,3	26,0	17,0	15,7	25,0	16,7	15,5	23,7	16,2	15,2	22,7	15,8	15,0	21,3	15,2	14,7	5
10	150	31,0	16,0	14,6	27,0	15,0	13,6	25,0	14,3	12,9	24,0	14,0	12,7	22,0	13,6	12,4	20,0	13,2	12,2	17,5	12,6	11,8	10
15	150	28,5	15,5	14,0	25,0	14,5	13,0	22,8	13,9	12,5	21,8	13,6	12,3	20,1	13,1	11,9	18,7	12,7	11,7	16,8	12,1	11,4	15
20	225	31	13,6	12,2	25,5	12,6	11,4	22,5	11,9	10,8	21,5	11,7	10,6	19,7	11,3	10,3	18,2	11,1	10,1	16,5	10,8	9,8	20
30	225	28	13,2	11,9	22,8	12,0	11,0	20,3	11,4	10,5	19,5	11,2	10,3	18,1	10,8	9,9	17,3	10,6	9,7	16,1	10,3	9,4	30
50	300	28	12,4	11,3	22	11,5	10,5	19,5	10,9	10,1	18,7	10,7	9,9	17,7	10,4	9,5	16,8	10,2	9,3	15,7	9,9	9,0	50
75	300	26,5	12,1	11,0	21	11,2	10,3	18,5	10,7	9,9	17,7	10,5	9,7	16,7	10,2	9,3	15,8	10,8	9,1	14,7	9,7	8,8	75
100	500	(31,0)	11,3	10,0	23,5	10,4	9,2	(20,0)	9,8	8,7	(19,0)	9,6	8,5	(17,6)	9,2	8,3	(16,6)	9,0	8,1	(15,6)	8,7	7,8	100
	400	26,5	12,1	11,0	20,0	11,2	10,3	17,3	10,7	9,9	16,5	10,5	9,7	15,5	10,2	9,3	14,6	10,0	9,1	13,6	9,7	8,8	
150	500	28	10,8	9,7	21	10,1	8,8	18,0	9,5	8,4	17,0	9,3	8,3	15,8	8,9	8,1	15,0	8,7	7,9	14,1	8,4	7,6	150
	400	—	—	—	19,3	—	—	16,4	—	—	15,7	—	—	14,8	—	—	13,9	—	—	12,9	—	—	
300	760	34	10,2	8,7	24,5	9,5	8,0	20,5	8,9	7,6	19,5	8,7	7,4	17,7	8,3	7,15	16,5	8,0	6,95	15,2	7,7	6,75	300

In der nebenstehenden Tabelle II sind Angaben über den Dampfverbrauch
r verschiedene Leistungen und Dampfüberdrucke zusammengestellt. Die An-
aben über den Dampfverbrauch gelten unter der Voraussetzung, dafs 1. der
ampf möglichst trocken, 2. die Probe mit voller Belastung angestellt wird.
uch hier ist die Arbeit für den Kondensator nicht mitgerechnet.

Fig. 367 gibt das Bild einer Dampfturbinendynamo von 7 P. S. und
ig. 368 das einer Dampfturbinendynamo von 100 P. S. mit zwei Triebwellen
nd dementsprechend zwei Ankern. Diese Doppeldynamos eignen sich be-
onders zur Stromerzeugung in Dreileiternetzen.

Dreizehntes Kapitel.

Behandlung der Dynamos.

**§ 113. Behandlung der Dynamos nach Abstellen des Be-
iebes.** Sogleich nachdem die Dynamo aufser Betrieb gestellt ist,
ird sie gereinigt und geputzt, wobei keine Putzwolle verwendet werden
ll, sondern nur leinene Lappen ohne lose Fasern. Der Bürstenhalter
d Kollektor werden mittels Blasebalg oder eines harten Pinsels von
etallstaub gereinigt. Alle an der Maschine befindlichen Kontakte,
hraubenverbindungen u. s. w. sollen sich stets in einem gebrauchs-
higen Zustande befinden; dieselben sind daher von Zeit zu Zeit nach-
sehen und erforderlichenfalls anzuziehen.

Um den Kollektor in einem guten Zustande zu erhalten und um
e Riefen und Unebenheiten auf demselben fernzuhalten, mufs er
ter sehr sorgfältig mit Sand- oder Glaspapier, nicht mit Schmirgel-
pier oder Schmirgelleinen, gereinigt werden. Das Glaspapier kann
it Maschinenöl oder Petroleum zur Vermeidung des Metallstaubes
tränkt werden. Die Reinigung des Kollektors soll nicht während
s Betriebes geschehen.

Die Oberfläche des Kollektors wird durch tägliches Abschleifen mit
nem Glas- oder Sandpapier, das auf ein dünnes Brettchen geleimt ist, glatt
d blank erhalten. Die Breite des Brettes wählt man gleich der Kollektor-
eite. Ist der Kollektor zu rauh oder unrund geworden, so mufs er laufend
t einer Schlichtfeile gefeilt werden, oder besser noch abgedreht werden.
im Vordrehen soll ein Drehstahl mit scharfer Spitze verwendet werden,
mit gleichzeitig der Glimmer abgedreht wird. Die Drehgeschwindigkeit
l so gewählt werden, dafs die Umfangsgeschwindigkeit des Kollektors
ht mehr als 8 m pro Minute beträgt. Auch beim Schlichten soll ein
arf gespitzter Drehstahl gebraucht werden, dessen Vorwärtsbewegung pro
lauf nicht mehr als 0,1 mm beträgt, während die Umfangsgeschwindigkeit
ht 10 m pro Minute übersteigt. Bei gröfseren Maschinen wird das Ab-
hen des Kollektors am besten an der Maschine selbst ausgeführt, wozu
dem Maschinengestell in geeigneter Weise ein Drehbanksupport ange-

bracht wird. Nach dem Abdrehen sind alle Isolierschichten am Kollektor nachzusehen und zu prüfen, ob nicht Späne von einer Lamelle zur nächsten hinübergezogen sind. Dann mufs sorgfältig jeder Metallstaub und Metallspan vom Kollektor entfernt werden.

Die Länge, um welche die Bürsten aus den Haltern hervorragen, ist besonders zu merken. Die Bürsten müssen dem Verschleifs entsprechend vorgeschoben werden, wonach die Druckschrauben der Bürsten fest anzuziehen sind.

Die Bürsten sollen vorn geraden Schnitt zeigen, und wenn sie zackig geschlissen sind, wieder gerade gefeilt oder mit einer Schere gerade geschnitten werden. Dieses ist besonders bei Gewebebürsten zu beachten. Die Bürsten sind von Metallstaub und Öl sorgfältig zu reinigen, eventuell durch Waschen mit Benzin.

Bei zweipoligen Maschinen müssen die Bürsten an zwei genau gegenüber liegenden Lamellen des Kollektors aufliegen, bei vierpoligen Maschinen an Lamellen, die um $^1/_4$ des Umfanges voneinander entfernt sind.

Bei Kohlebürsten soll die Auflagerfläche entsprechend der Krümmung des Kollektors gebildet sein.

Nach vollzogener Reinigung sind Anker, Kollektor und Schenkelwickelung gegen Nässe und Staub durch einen um die Dynamo gelegten Mantel aus Segeltuch zu schützen.

§ 114. Das Inbetriebsetzen und der Betrieb der Dynamo. Vor dem Anstellen der Betriebsmaschine sind, besonders bei gröfseren Maschinen, die Metallbürsten abgehoben vom Kollektor. Das Abheben geschieht meistens gleichzeitig durch isolierte Hebel und Zahnrad. Wenngleich die Konstruktion des Bürstenhalters dadurch kompliziert wird, so bietet doch diese Einrichtung Vorteile, wenn die Dynamos durch Dampfmaschinen angetrieben werden, bei welchen im Augenblick des Anlassens ein Rückwärtsdrehen möglich ist. Auch beim Abstellen der Dynamo sollen nach Abstellen der Betriebsmaschine kurz vor dem Auslaufen des Ankers die Bürsten abgehoben werden. Bei Anwendung von Kohlebürsten ist diese Vorsicht nicht nötig. Ist die Betriebsmaschine durch Regulator und Absperrventil auf richtige Tourenzahl gebracht, so werden die Bürsten angelegt, und die Spannung wird mit dem Nebenschlufsregulator auf den normalen Betrag gebracht. Nunmehr erst erfolgt der Anschlufs der Dynamo an das Schaltbrett. Alle an die Schienen desselben geschlossenen Verteilungsleitungen sind noch abgeschaltet; das Einschalten derselben erfolgt nacheinander unter Beobachtung des Strommessers, wenn die Dynamo ihre normale Spannung erlangt hat. Bei allmählicher Einschaltung der Stromkreise müssen die Bürsten in der Drehungsrichtung des Ankers mittels des Bürstenhalters verschoben werden (vergl. § 44 und 45). Man vermeide möglichst, während des Betriebes die Dynamo

tzlich stark zu belasten oder zu entlasten, dies gibt leicht zur nkenbildung am Kollektor Veranlassung, ferner auch zu Unregelfsigkeiten in der Umlaufszahl bei zu langsam wirkendem Regulator · Betriebsmaschine.

Während des Betriebes ist eine sorgfältige Überwachung der Lager boten. Zur Schmierung des Lagers wird bestes Maschinenöl verndet, jeder übermäfsige Gebrauch des Öles ist zu vermeiden, da die namo durch spritzendes Öl leicht verunreinigt wird. Vor allem d die Wickelungen des Ankers und des Magneten gegen einngendes Öl zu schützen. In Lagern mit Ringschmierung soll das alle 8 bis 14 Tage erneuert werden.

Vor dem Inbetriebsetzen, besonders nach längerer Einllung des Betriebes, müssen Betriebsmaschine und Dynamo einer nauen Besichtigung unterworfen werden. Wird die Dynamo zum tenmale in Betrieb gesetzt, oder ist dieselbe längere Zeit aufser trieb gewesen, so sollen die Lagerdeckel abgenommen, und die Lager d Zapfen gereinigt werden. Beim Wiederaufsetzen der Lagerdeckel rfen die Schrauben nicht zu stark angezogen werden. Die Schmierfäfse sind zu prüfen; die Schmierringe sollen sich in richtiger Lage finden und beim Andrehen des Ankers durch die Hand sich mitwegen.

Der Anker mufs rund laufen und sich centrisch zwischen den lschuhen befinden; er mufs sich leicht drehen lassen. Klimatische derungen bringen wohl ein Aufquillen mancher Isolationsmaterialien vor, worauf bei der Besichtigung des Ankers und Kollektors zu ten ist.

Die reinen und trockenen Bürsten müssen mit der ganzen Auferfläche am Kollektor anliegen. Die richtige Stellung der Bürsten voller Belastung wird meistens durch eine Marke gekennzeichnet. Bürsten sollen mit sicherem, aber leisem Drucke aufliegen. Die flagerfläche der Metallbürsten darf nicht mehr als zwei Breiten und ht weniger als eine Breite der Kollektorlamellen betragen. Die deren Ränder nebeneinander liegender Bürsten liegen in einer Linie. atliche Bürsten sind so in der Richtung der Welle gegeneinander versetzen, dafs der ganze Kollektor bestrichen und auf seiner zen Länge gleichmäfsig abgenutzt wird.

Nach sorgfältiger Prüfung aller Verbindungen der Dynamo mit Schaltbrette, der Magnetspulen mit dem Nebenschlufsregulator n der Betrieb beginnen.

Während des Betriebes dürfen die Bürsten nicht vom Kollektor ehoben werden, weil hierdurch der Kollektor beschädigt wird und Durchschlagen der Nebenschlufsspulen erfolgen kann.

Die Dynamo soll stets mit der normalen Tourenzahl laufen. Wird mit zu geringer Tourenzahl betrieben und dabei durch fast vollndiges Ausschalten des Widerstandes im Regulator die Spannung

auf ihren normalen Betrag gebracht, so wird eine übermäfsige Erwärmung der Magnetspulen meistens eintreten.

§ 115. Störungen an der Dynamo. a) Warmlaufen eines Lagers. Ist ein Lager warm gelaufen, so sucht man zunächst unter Anwendung von frischem Öl durch verstärktes Schmieren Abkühlung zu schaffen. Oft liegt die Ursache in einem zu starken Anziehen der Lagerdeckelschrauben oder in einem zu straff gespannten Riemen. Schmutz wird nach Abstellen des Betriebes aus dem Lager durch mit Petroleum getränkte Lappen entfernt.

b) Heifswerden des Kollektors. Zu starke Erwärmung des Kollektors tritt meistens dadurch ein, dafs die Bürsten mit zu starkem Drucke aufliegen oder dafs eine der Funkenbildung bei mangelhaft eingestellten Bürsten auftritt.

c) Nichtangehen bezw. Ausbleiben der Erregung. Zeigt sich die Dynamo stromlos beim Angehen und unterbleibt die Erregung derselben, so liegen entweder die Bürsten gar nicht oder schlecht auf, oder es ist eine Unterbrechung der Schraubenverbindungen an der Dynamo vorhanden, oder die Verbindung der letzteren mit dem Nebenschlufsregulator ist gestört. Auch ein Kurzschlufs zwischen den Bürsten der Nebenschlufsdynamo, wodurch zugleich die Magnetspulen kurz geschlossen werden, kann die Ursache des Ausbleibens der Erregung sein. Sind jedoch alle Verbindungen in Ordnung, so kann auch durch Verschwinden des remanenten Magnetismus die Erregung unterbleiben, der dadurch verloren gehen kann, dafs beim vorherigen Abstellen ein schwacher Strom für einen Augenblick in umgekehrter Richtung durch die Magnetspulen geflossen ist. Dynamos mit Magneten aus Schmiedeeisen oder Flufseisen haben überhaupt nur sehr wenig remanenten Magnetismus. Der Vorfall ereignet sich am häufigsten bei ganz neuen Maschinen, tritt nur selten ein bei Maschinen, die schon öfter in Betrieb gewesen sind. In diesem Falle mufs ein Strom von einer anderen Dynamo, oder von einer Akkumulatorenbatterie, eventuell auch von einigen galvanischen Elementen, durch die Magnetspulen der Nebenschlufsdynamo geleitet werden, wobei natürlich die Spulen ganz aus der Verbindung mit dem Anker und dem äufseren Widerstande gebracht werden. Kennt man die Lage der Pole der Dynamo, so ergibt sich leicht auf Grund der Regel S. 57 in welcher Richtung der Fremdstrom durch die Magnetspulen gesandt werden mufs. Ist die Maschine hierbei oder sonst durch andere Umstände umpolarisiert, so ist dies so lange ohne Bedeutung, wie die Dynamo Strom ausschliefslich für Glühlampen liefert, und keine Bogenlampen und Akkumulatoren Strom von ihr erhalten, die Dynamo nicht mit einer anderen in Parallelschaltung verbunden wird. So[illegible] Störung infolge des Umpolarisierens beseitigt werden, so müsse[illegible] Enden der Hauptleitung an den Klemmen der Maschine vertau[illegible]

rden, nachdem vorher die sämtlichen Stromkreise von der Dynamo geschaltet sind. Um den Polen der Maschine wieder die ursprüng-he Lage zu geben, mufs Fremdstrom benutzt werden. Die Unter-leidung der beiden Polklemmen geschieht durch Anwendung des § 10 erwähnten Polreagenzpapieres.

Wird die Dynamo mit Nebenschlufswickelung an ein Leitungsnetz an-schlossen, in welchem ein Kurzschlufs vorhanden, so können die Magnete ht erregt werden, und die Maschine bleibt stromlos. Schaltet man die-be vom Leitungsnetz ab, und legt man an ihre Polklemmen nur ein Volt-ter, so wird das letztere die normale Spannung anzeigen, wenn der Fehler rklich im Leitungsnetze liegt. Ein derartiger Kurzschlufs im Leitungs-tze kann veranlafst sein durch nicht ausgeschaltete Motoren, deren Anlafs-bel in der Endstellung liegt oder durch eine Anzahl parallel geschalteter genlampen. Motoren und Bogenlampen sind daher beim Betriebsschlufs n Hand auszuschalten, sofern dies nicht durch selbsttätige Ausschalter schieht. Nach Reparaturen an Compounddynamos ist bei Anschlufs der agnetspulen darauf zu achten, dafs die Ströme in beiden Bewickelungen n Eisenkern in gleichem Sinne magnetisieren.

Bei vorgenommenen Arbeiten an der Dynamo kann es wohl ein-sten, dafs die Nebenschlufsdrähte an den Anschlufsklemmen ver-chselt sind, wodurch die Erregung der Dynamo unterbleibt. Diese örung ist leicht zu beseitigen.

d) Plötzliches Auftreten starker Funkenbildung am llektor kann hervorgerufen werden:

1. Durch eine lose gewordene Bürste am Kollektor.

2. Durch Entstehung eines Kurzschlusses in der äufseren Leitung i einer sachgemäfs ausgeführten Anlage müssen bald die betreffenden schmelzsicherungen durchbrennen. Der Strommesser zeigt dabei eine norm hohe Stromstärke, während die Spannung der Nebenschlufs-namo weit unter ihrem normalen Betrag liegt. Meistens verlang-nt dabei die Betriebsmaschine erheblich ihre Tourenzahl.

3. Zeigt jedoch der Strommesser den normalen Betrag oder gar niger, so liegt der Fehler in der Dynamo selbst. Durch Isolations-ler der Ankerspulen, durch Loslösen eines Spulenendes vom Kol-tor, durch Bruch eines Drahtes der Ankerspulen und andere Um-nde wird dabei die Funkenbildung verursacht. Oft findet man h dem Stillsetzen der Dynamo, dafs sich zwei nebeneinander gende Kollektorlamellen besonders verbrannt und die dazwischen gende Ankerspule besonders erwärmt zeigen. Der Grund kann dann h in Metallteilchen liegen, die zwischen zwei aufeinander folgenden nellen sich festgesetzt und die zugehörige Spule kurz geschlossen en.

e) Zucken des Lichtes. Erfolgt dasselbe in regelmäfsigen ervallen, so liegt der Fehler meistens an der Betriebsmaschine oder ihrer Verbindung mit der Dynamo. Im ersteren Falle erfolgen Lichtschwankungen in gleichem Tempo mit den Umgängen der

Welle der Betriebsmaschine. Abhülfe wird hier meistens durch Anbringen schwererer Schwungmassen geschaffen. Auch kann bei Riemenantrieb das Schwanken der Spannung und damit der Lichtstärke durch einen gelockerten und zeitweise gleitenden Riemen verursacht werden, oder auch durch ein Riemenschlofs oder eine ähnliche Verbindung des sonst glatten Riemens, die bei jedem Auflaufen auf die Riemenscheibe der Dynamo dem Anker einen Stofs gibt.

Weitere Ursachen des Zuckens des Lichtes rühren von einem unrunden Kollektor oder lose gewordenen Bürsten her.

Vierzehntes Kapitel.

Elektrische Leitungen und Hülfsapparate für dieselben.

§ 116. Material der Leitungen. Isolation derselben. Als Leitungsmaterial verwendet man hauptsächlich Kupfer, daneben freilich seltener Eisendraht, Siliciumbronzedraht u. a. m. Unter Leitungskupfer versteht man solches, dessen spezifisches Leitungsvermögen (vergl. § 13) bei 15° C. mindestens 57 ist. Als Normalkupfer von 100 Proz. Leitungsvermögen gilt solches, dessen Leitungsvermögen 60 beträgt. Der elektrische Widerstand der Leitungen wird nach der Gleichung (6) oder (7) berechnet.

Ist der Leiter seiner ganzen Länge nach mit einer isolierenden Hülle umgeben, so bezeichnet man ihn als einen isolierten, im Gegensatze zum blanken oder nackten Leiter. Die für elektrische Maschinen (Ankerwickelung und Magnetspulen) verwendeten Kupferdrähte werden meist in zwei bis vier Lagen mit Baumwolle oder Zwirn umsponnen, wobei die aufeinander folgenden Lagen in entgegengesetzten Richtungen gewickelt sind.

Mit Bezug auf die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker unterscheiden wir

1. Leitungen für trockene Räume. Für diese ist der Leiter (Bezeichnung U) mit einer zwei- bis dreifachen Baumwollumspinnung isoliert, und diese Schicht ist mit Zwirn oder Eisengarn beklöppelt, das zum besseren Schutze gegen Feuchtigkeit noch mit Asphalt getränkt ist. Die Isolierhülle darf nicht brüchig werden und mufs fest auf dem Drahte aufliegen.

Diese Leitungen dürfen auf Isolierglocken (Fig. 370) überall, auf Isolierrollen (Fig. 369) oder ähnlichem Isoliermaterial nur in ganz trockenen Räumen verlegt werden.

2. *Für Leitungen in Räumen, die im normalen Zustande trocken sind,* wird auf Rollen, Ringen u. s. w. verlegter und verzinnter Kupferdraht gewählt, der zunächst mit einer oder zwei Lagen spiralförmig gewundenem Gummiband bedeckt ist und darüber eine

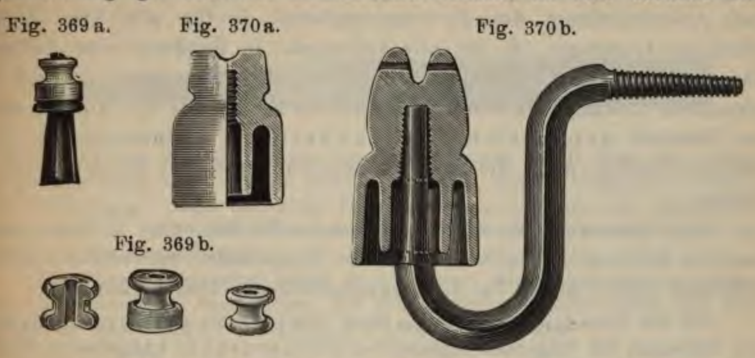


Fig. 369 a. Fig. 370 a. Fig. 370 b.

Fig. 369 b.

mit Asphalt oder Teer getränkte zwei- bis dreifache Umspinnung mit Baumwolle trägt. Ist der Kupferdraht nicht verzinnt, so muſs er vor Berührung mit dem vulkanisierten Gummi durch eine Zwischenlage aus Baumwollengarn geschützt werden. Auch diese Leiter dürfen auf Isolierglocken überall verlegt werden.

3. *Für dauernd feuchte Räume, für die von den Verteilungsstationen im Schiffe ausgehenden Leitungen nach den Innenräumen verwendet man Kupferleiter mit einer nahtlosen, ununterbrochenen und vollkommen wasserdichten Gummiisolierung* (Bezeichnung G).

Guttaperchahüllen werden bei Wärme weich und sind daher wenig zu empfehlen; am besten eignet sich eine Kombination aus Gummi und Guttapercha.

Die vorhin bezeichneten Leitungen dürfen in Räumen, wo ätzende Dämpfe (Akkumulatorenräume u. s. w.) vorkommen, nicht gebraucht werden.

Um den Einfluſs der Feuchtigkeit vollständig zu beseitigen, kann der isolierte Leitungsdraht mit einem nahtlosen Bleimantel umpreſst werden; wir erhalten so das blanke *Bleikabel* (Bezeichnung KB).

Fig. 371.

Zum Schutze des weichen Bleimantels gegen mechanische Einwirkungen von auſsen wird das Kabel zunächst mit einer geteerten Hanfschicht umgeben, über welche spiralig gewunden ein Eisenband liegt (*armiertes Bleikabel*, Bezeichnung KE). Um das Eisenband (Fig. 371) herum ist nochmals eine Hülle aus geteertem oder mit Asphalt getränktem Hanf gelegt.

Solche armierten Bleikabel können direkt in die Erde gelegt werden. Ebenso dienen auf den Schiffen die armierten Bleikabel

1. zur Verbindung der Dynamo mit dem Hauptschaltbrette, 2. zur Stromleitung vom Hauptschaltbrette aus nach den verschiedenen Verteilungsschaltbrettern oder Verteilungskästen, 3. für sämtliche Leitungen in den Maschinen- und Kesselräumen, 4. für die Aufsenlampen und Anschlufsdosen des Promenadendecks, 5. für alle über Deck gehenden Leitungen, 6. für alle Leitungen in feuchten oder heifsen Räumen, Bunkern Laderäumen u. s. w. Für die unter 2. und 3. genannten Leitungen können auch mit Rücksicht auf die Kosten und das Gewicht asphaltierte Bleikabel ohne Eisenarmierung Anwendung finden, wenn die Kabel hinreichend geschützt verlegt werden können.

Der Raumersparnis wegen sollte man für die unter 2. bis 5. genannten Leitungen möglichst verseiltes Doppelkabel verwenden. Dies geschieht auch vielfach für Leitungsquerschnitte über 6 qmm.

Für die Verteilungsleitungen an Bord, wie auch für nasse Räume, eignen sich besonders die folgenden sogenannten Panzerdrähte (Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin), die ohne weiteren Schutz verlegt werden können.

1. KA-Draht (Fig. 372) ist ein verzinnter Kupferleiter, mit Gummi nahtlos umhüllt, vulkanisiert, mit gummiertem Band umwickelt, mit Baumwolle

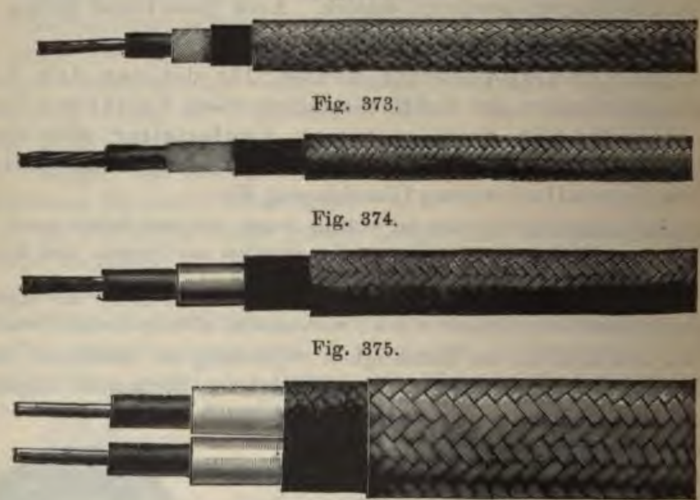


Fig. 372.

Fig. 373.

Fig. 374.

Fig. 375.

bezw. Jute beklöppelt und mit A.-E.-G.-Imprägniermasse getränkt, hierauf mit feinen, verzinkten Stahldrähten beklöppelt.

2. KSA-Draht, wie vorher, jedoch biegsam (Fig. 373).

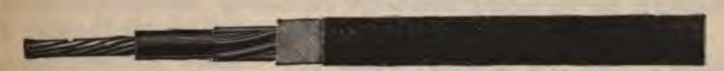
Die vorher genannten Leiter werden bis zu 95 qmm von der A. E. G. Berlin hergestellt.

3. KBA-Draht ist ein verzinnter Kupferleiter (Fig. 374) mit vulkanisiertem Gummi umhüllt, mit einem nahtlosen Bleimantel umprefst, mit Jute beklöppelt, mit A. E. G.-Imprägniermasse getränkt und dann mit verzinkten Stahldrähten beklöppelt.

4. ZBA-Draht ist ein verzinnter Doppelleiter (Fig. 375), jeder einzelne
t vulkanisiertem Gummi umhüllt und mit einem Bleimantel umprefst,
nst wie unter 3. Auch diese werden bis 95 qmm Querschnitt hergestellt.

In Fig. 376 ist eine wasserdichte, koncentrische Leitung für nasse
ume (Querschnitte jeder Leitung 0,5, 1, 1,5 und 2,5 qmm) dargestellt.

Fig. 376.



arke KVC der A.E.G., Berlin, ist eine verzinnte Kupferlitze, der innere
iter mit einer Lage Gummi nahtlos umhüllt, diese vulkanisiert, hierauf
e Rückleitung, dann mit gummiertem Band umwickelt, mit Baumwolle
klöppelt und Imprägniermasse getränkt. Leitungen dieser Art eignen sich
r Glühlampenanschlüsse.

Die Panzerdrähte sind leicht zu verlegen. Die Abzweigungen müssen
r Vermeidung des Eindringens der Feuchtigkeit zwischen Leiter und Blei-
antel in wasserdichten Abzweigdosen ausgeführt werden.

§ 117. **Verlegen der elektrischen Leitungen.** Bezüglich der
erlegungsart der Leitungen überhaupt ist zu fordern:

1. Die Isolation der verlegten Leitungen mufs dauernd einen
nügend hohen Wert behalten. Über die Messung der Isolation
rgl. § 144.

2. Der Leitungsquerschnitt mufs derartig gewählt sein, dafs eine
starke Erwärmung ausgeschlossen ist.

3. Bei zu hohen Spannungen mufs Schutz gegen zufällige und
beabsichtigte Berührung der Leitungen geboten sein. Auch soll
e Verlegungsart je nach den örtlichen Verhältnissen gewissen ästhe-
chen Anforderungen genügen.

4. Die Leitungen sollen ihrer ganzen Ausdehnung nach leicht zu-
nglich und kontrollierbar sein, so dafs leicht Fehler einzelner Teile
r Leitung ermittelt werden können, auch die Auswechselung schad-
fter Teile bequem ausgeführt werden kann.

5. Die Kosten sollen in Bezug auf den Gesamtwert der Anlage
einem angemessenen Verhältnis bleiben.

Diese Forderungen widersprechen sich bis zu einem gewissen Grade,
d es wird schwierig sein, allen Bedingungen gleichzeitig zu genügen. Je
ch den vorliegenden Verhältnissen wird man einige Forderungen mehr
dere dagegen weniger berücksichtigen können.

Arten der Verlegung. 1. Verlegung der eisenband-
mierten oder asphaltierten Bleikabel. Diese werden durch
hellen aus verzinktem Bandeisen in Abständen von 30 bis 40 cm
den Schotten oder Decks befestigt. Dieselbe Befestigung wählt
n auch für die in § 116 beschriebenen Panzerdrähte.

2. Verlegung der Leitungen, die mit den Bezeichnungen U,
und G auf S. 294 u. ff. angegeben sind.

a) **Anstiften der Leitungen**, nur gebräuchlich bei Montage der Leitungen auf Holz u. s. w. Zur Befestigung dienen verzinnte Heftstifte, Krampen, und zwar wird der Leitungsdraht durch ein Fiberpolster gegen Verletzung durch den Heftstift geschützt. Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker ist diese Art der Verlegung überhaupt unzulässig. Isolierte Leitungen mit sehr starkem Guttaperchamantel werden häufig mit Schellen aus Bandeisen direkt auf Schotten, Decks und Wänden an Bord verlegt, und zwar dort, wo hinreichender Schutz vorhanden ist, wie in den bewohnten Räumen.

b) **Verlegung mittels Klemmstücke und Isolierrollen.** Für Installationen an Gebäuden werden Klemmen aus Porzellan mit zwei Nuten benutzt, in welche die isolierten Drähte eingelegt und dann durch einen Deckel festgeklemmt werden (System von L. A. **Riedinger**, Augsburg).

Sehr gebräuchlich, besonders in Gebäuden, Fabrikräumen u. s. w., ist die Verlegung der isolierten Leitungen auf oder an **Isolierrollen**

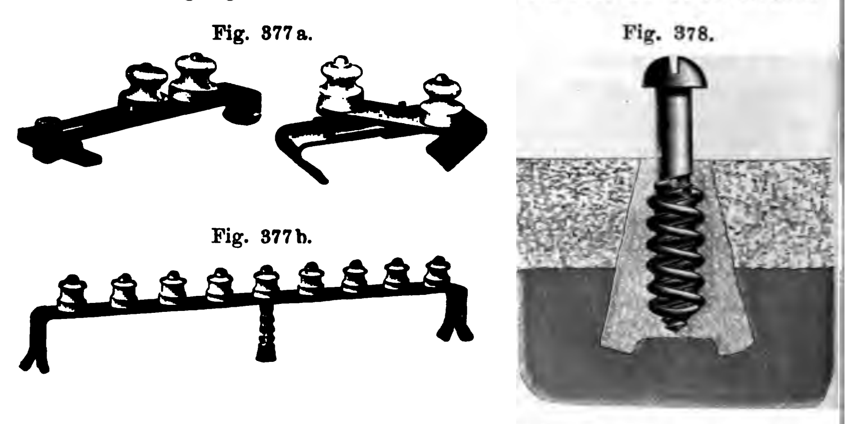


Fig. 377a.

Fig. 378.

Fig. 377b.

aus Porzellan, die auf Holzwänden mit Schrauben befestigt werden oder zu zweien oder mehreren auf einem eisernen Bande (Fig. 377a) mit Schrauben befestigt sind, das entweder auf hölzernen Dübeln verlegt wird oder selbst mit einem eisernen Dübel (Fig. 377b) ein einziges Stück bildet.

Wegen des Schwindens des Holzdübels läßt die Festigkeit desselben mit der Zeit nach. Sehr praktisch ist der von J. **Böddinghaus** in Düsseldorf eingeführte **Spiraldübel** (Fig. 378). Der Dübel selbst ist eine Doppelspirale, die mit der eingesetzten Schraube eingegipst wird. Nach dem Erhärten des Gipses wird die Schraube zum Einsetzen der Isolierrolle aus dem Dübel herausgeschraubt.

In feuchten Räumen soll der Abstand der auf Rollen verlegten Leitungen von der Wand mindestens 10 mm betragen, dagegen in trockenen Räumen mindestens 5 mm. Die aufeinander folgenden Rollen derselben Leitung haben einen Abstand von 80 cm.

Ungeschützte Porzellanisolierung der Leitung kann an Bord in solchen Fällen benutzt werden, wo eine Beschädigung der Leitungen nicht zu befürchten ist; in anderen Räumen wird zum Schutze der mit Porzellanisolierung verlegten Leitungen ein Schutzblech aus Bandeisen von ⌐⊔⌐-förmiger Gestalt, dessen Flanschen mit Schrauben an der Decke befestigt sind, benutzt (vergl. Roedder, Die Verwendung der Elektrizität auf den Kriegsschiffen „Kearsarge" und „Kentucky", Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 24, S. 1609).

c) Verlegung der Leitungen in Holzleisten. Die Holzleisten bestehen aus einem Grundbrett, in welchem Nuten eingearbeitet sind, in die die Leitungen ohne weitere Befestigung verlegt werden. Die Nuten werden durch eine Holzleiste abgedeckt. Das Grundbrett wird auf den in der Mauer befestigten Dübeln geschraubt, indem man an geeigneten Stellen Porzellanrollen unterlegt, die das Grundbrett in kleinem Abstande von der Wand halten, damit nicht die Feuchtigkeit derselben vom Holze aufgenommen wird. Gegen das Einziehen der Feuchtigkeit schützt auch ein Anstrich mit Leinölfirnis. Besonders sorgfältig müssen die Verbindungsstellen der Drähte durch Verlöten (siehe § 118) hergestellt werden, weil bei mangelhaftem Kontakte die Erhitzung leicht die Gefahr des Anbrennens der Holzleisten herbeiführt. Holzleisten finden nur Anwendung für Leitungen bei einer Netzspannung von 110 Volt und weniger. Der Wert der Holzleisten für die Isolierung der Leitungen wird sehr verschieden beurteilt; der Verband deutscher Elektrotechniker hat in den Sicherheitsvorschriften den Gebrauch der Holzleisten für die Verlegung elektrischer Starkstromleitungen jeder Art als unzulässig erklärt. In den bewohnten Räumen des Schiffes werden die Holzleisten zum Schutze der gummiisolierten Leitungen (Bezeichnung G) sehr häufig und gern verwendet. In allen Fällen ist jedoch dafür zu sorgen, dafs jedes Eindringen von Feuchtigkeit in die Holzleisten verhindert wird.

Aus praktischen Gründen empfiehlt sich die Verlegung der Holzleisten an Bord der grofsen Passagierdampfer wegen der sehr häufig vorkommenden Veränderungen in der Benutzung der verschiedenen Schiffsräume. Die Holzleisten sind dabei ein sehr viel billigeres Material als die Isolierrohre, welche bei gröfseren Änderungen der Installation meist durch neue ersetzt werden müssen.

d) Verlegung der Leitungen in Röhren. In einzelnen Fällen werden in den elektrischen Anlagen auf den Schiffen besonders die Hauptleitungen nach den Verteilungsstationen in Gasrohre verlegt, damit sie vor äufseren Angriffen grofsen mechanischen Schutz haben. Diese Verlegungsart ist jetzt nur noch wenig im Gebrauche, da die armierten Bleikabel hinreichend widerstandsfähig und bequemer zu verlegen sind. An sehr gefährdeten Stellen wird man immerhin den armierten Bleikabeln noch besonderen Schutz geben.

Die von den Verteilungsstationen nach den einzelnen Lampen abgehenden Verteilungsleitungen werden sehr häufig in dichte und feste Röhren eingezogen, damit sie Schutz gegen Feuchtigkeit und mecha-

nische Angriffe haben. Es ist gestattet, Hin- und Rückleitung in dasselbe Rohr zu legen. Sehr gebräuchlich ist das **Installationssystem von S. Bergmann, Berlin.**

Diese Rohre bestehen aus mehreren spiralförmig gewundenen Papierstreifen, die mit einem an Kohlenwasserstoffen reichen und bei hoher Temperatur schmelzenden Stoffe getränkt sind. Die Rohre sind wasserdicht, hart und etwas elastisch. Für Lichtleitungen verwendet man Rohre in 9, 11, 16, 23, 29, 36 und 48 mm lichten Weiten. Das 9-mm-Rohr dient nur für Einzel-

Fig. 379.



leitungen. Bei Anwendung von zwei Lichtleitungen in einem Rohre wird mindestens ein 11-mm-Rohr verwendet. Die Befestigung der Rohre erfolgt am besten mit den Rohrschellen (Fig. 379) aus verzinktem Eisen oder aus Messing. Die Verbindung der Rohre geschieht durch eine Metallmuffe, in welche die beiden Rohrenden derartig eingeschoben werden, dafs der Stofs möglichst in der Mitte stattfindet, worauf die Enden der Muffe mittels einer besonderen Zange gewürgt werden (Fig. 380). Rohre von mehr als 23 mm lichter Weite werden nur durch Muffen aus Isoliermaterial verbunden. Rohr-

Fig. 380.



enden und Muffen werden vor dem Zusammenstecken gelinde erwärmt. Für geringe Krümmungen können die Rohre bei gelinder Erwärmung über einer Flamme gebogen werden. Für stärkere Krümmungen sind besondere Ellenbogen, Kröpfungsstücke und Übergangsbogen vorhanden. Da das Rohrsystem zunächst vollständig fertig gestellt wird, und dann erst mittels eines Stahlbandes die Leitungen eingezogen werden, so ist es nötig, an passenden Orten **Zwischendosen** (Fig. 381), oder **Zwischenkästen** einzusetzen, von denen

Fig. 381.

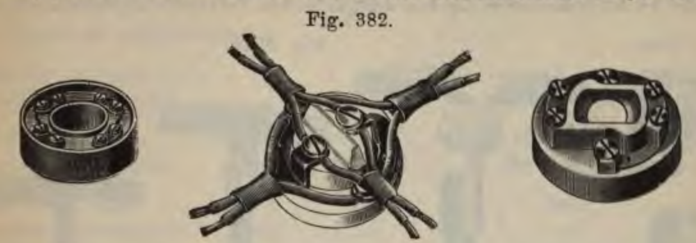




aus die Leitungsdrähte nach beiden Richtungen hin eingezogen werden können. Für die Abzweigungen von den Hauptleitungen sind besondere **Abzweigdosen** vorgesehen, die dauernd zugänglich sind und durch einen Deckel aus Messing oder Eisenblech verschlossen werden. Sämtliche Abzweigdosen eignen sich auch zur Aufnahme von kleineren Ausschaltern und Umschaltern. Die Rohre werden mittels eines besonderen, leicht flüssig zu machenden Kittes in den Dosenanschlüssen abgedichtet. Durch die Verwendung der **Abzweigscheiben** (Fig. 382) wird das Löten der Abzweigungen in den Dosen vermieden, da dasselbe bei dem engen Raume der Dose schwierig auszuführen ist. Die gewöhnlichen Isolierrohre dürfen dort nicht verwendet werden, wo durch ätzende Stoffe, wie bei der Verlegung in

Zementputz u. s. w., eine Zerstörung des Rohres stattfindet. Für solche Fälle benutzt man Isolierrohre mit Messingüberzug, das auch des gröfseren Schutzes wegen für die Innenräume auf den Dampfern „Kaiser Wilhelm der Grofse", „Friedrich der Grofse" u. a. m. des Norddeutschen Lloyd vielfach

Fig. 382.



benutzt ist, auch auf Kriegsschiffen Verwendung gefunden hat. Diese Rohre werden in Baulängen von 3 m mit den lichten Weiten 9, 11, 16, 23 und 29 mm hergestellt. Die hierbei zur Verwendung kommenden Muffen haben innen eine Isolierbüchse und sind an beiden Enden mit Rillen versehen, die mit einem schmelzbaren Kitt ausgefüllt werden (Fig. 383). Ferner werden Isolierrohre mit Stahlpanzer hergestellt, welche einen Stahlmantel von

Fig. 383.



1,5 bei 2 mm Wandstärke haben und an beiden Enden mit Gewinde versehen sind. Die Verlegung und Befestigung ist ähnlich wie bei den Gasrohren ausgeführt. Wird besonders grofse mechanische Festigkeit verlangt, wie bei Leitungen in Kessel-, Kohlen- und Laderäumen, so kommen Isolierrohre mit Eisenarmierung zur Anwendung.

Damit keine Feuchtigkeit in die Rohrleitungen eindringt, ist eine sehr gute Abdichtung, hauptsächlich der Verbindungsstellen, erforderlich. Vorteilhaft ist es, den Röhren ein geringes Gefälle zu geben, damit etwa in denselben kondensiertes Wasser ablaufen kann. Bei den zahlreichen Krümmungen, welche die Leitungen an Bord infolge der Bauart des Schiffes und bei den oft sehr beschränkten Raumverhältnissen machen müssen, ist die Möglichkeit, besonders auch in Rücksicht auf den hohen Feuchtigkeitsgrad, nicht ausgeschlossen, dafs eine starke Ansammlung von Feuchtigkeit im Rohrsystem auftritt. Besonders gefährlich wird die Anhäufung der Feuchtigkeit in den Abzweigdosen.

§ 118. Verbindungen und Durchführung der Leitungen.

Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker dürfen Drähte nur durch Verlöten oder eine gleich gute Verbindungsart verbunden werden. Die Drähte durch einfaches Umeinanderschlingen der Enden zu verbinden, ist unzulässig. Als Lötmittel dürfen nur solche in Anwendung kommen, welche das Metall nicht angreifen. Die Verbindungsstelle mufs entsprechend den übrigen Teilen der Leitung sorgfältig isoliert werden (vergl. § 116).

Alle Leitungen über 25 qmm Querschnitt erhalten zum Zwecke des Anschlusses an die Schalttafeln und Apparate Kabelschuhe

(Fig. 385). Drahtseile von geringerem Querschnitte als 25 qmm müssen für solche Anschlüsse an den Enden verlötet werden, wenn sie nicht ebenfalls Kabelschuhe erhalten. Fig. 384 a und b stellen die von Siemens und Halske, A. G., hergestellten Verbindungsklemmen dar.

Fig. 384 a. Fig. 384 b.



Zur Durchführung der Leitungen durch wasserdichte Schotten sind Stopfbüchsen mit entsprechend guter Isolation einzusetzen. In

Fig. 385.



Fig. 386 ist eine Reihe von Schottstopfbüchsen dargestellt, die mit 11 bis 45 mm Bohrung in 10 Abstufungen von Ed. J. von der Heyde in Berlin geliefert werden.

Werden die Leitungen durch Deck geführt, so sind zur Durchführung Eisenrohre einzusetzen, welche oben zum Schutze möglichst

Fig. 386.



1 m überstehen sollen. Diese Rohre sind über und unter Deck mittels Gewindeflanschen wasserdicht zu verpacken. Der Raum zwischen Kabel und Durchführungsrohr soll nicht mit Isoliermasse ausgegossen, sondern oben und unten durch Gummiringe abgedichtet werden.

§ 119. Die Wahl des Leitungsquerschnittes. Die Auswahl des Leitungsquerschnittes erfolgt nach zwei Gesichtspunkten:

1. Die Erwärmung der Leitungen durch den elektrischen Strom arf nicht zu grofs werden. Nach den Sicherheitsvorschriften des 'erbandes deutscher Elektrotechniker ist die höchste zulässige Betriebs-tromstärke für Drähte und Kabel aus Leitungskupfer der nachfolgen-en Tabelle zu entnehmen:

uerschnitt in qmm	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
romstärke in Ampère . . .	3	4	6	10	15	20	30	40	60

uerschnitt in qmm	35	50	70	95	120	150	210	300
romstärke in Ampère . . .	80	100	130	160	200	230	300	400

erschnitt in qmm	500	625	800	1000
romstärke in Ampère . . .	600	700	850	1000

Der geringste zulässige Querschnitt isolierter Kupferleitungen, aufser und in Beleuchtungskörpern, ist 1 qmm; an und in Beleuchtungskörpern loch 0,75 qmm. Für schwache Ströme beträgt also die Stromdichte 4 Amp., r Ströme von 100 Amp. dagegen nur 2 Amp. Über das Verhältnis zwischen m Querschnitte und der abkühlenden Oberfläche des Leiters vergl. S. 31.

2. In Rücksicht auf den Spannungsverlust in der Leitung, der ch der Gleichung (9) berechnet wird.

Führt vom Hauptschaltbrett des Maschinenraumes eine Leitung nach er Verteilungsstation, an welche 120 Glühlampen (110 Volt, 16 N. K., 5 A.) angeschlossen sind, und beträgt die Leitungslänge 60 m, so ist die änge von Hin- und Rückleitung zusammen 120 m. Sind alle Lampen ein-schaltet, so fliefst in der Leitung der Strom 60 A. Für diese Stromstärke t der kleinste zulässige Querschnitt 25 qmm. Der Spannungsverlust in der eitung würde $= \frac{120 \cdot 60}{25 \cdot 60} = 4{,}8$ Volt betragen, wobei $\lambda = 60$ angenommen t. Abgesehen von dem Spannungsverluste in den Verteilungsleitungen vom erteilungskasten nach den einzelnen Lampen beträgt also der Spannungs-rlust in der Leitung etwa 4,4 Proz. der Nutzspannung. Sollen die Lampen it 110 Volt brennen, so müfste die Klemmenspannung der Dynamo auf wa 115 Volt gehalten werden. Wird von den 120 Lampen jedoch die öfste Zahl der Lampen ausgeschaltet, so sinkt der Spannungsverlust auf nen kleinen Betrag, und wenn die Maschinenspannung konstant auf 115 Volt halten wird, brennen die Lampen mit einer zu grofsen Spannung und romstärke (vergl. § 90). Der Spannungsverlust soll nur etwa 2 bis 3 Proz. tragen. Legen wir den letzteren Wert zugrunde, so ergibt sich für den rliegenden Fall der Leitungsquerschnitt aus der Gleichung

$$3{,}3 = \frac{120 \cdot 60}{60 \cdot q}; \quad q = \frac{120}{3{,}3} = 36{,}4 \text{ qmm}.$$

Demnach wäre unter den Normalquerschnitten ein solcher von 35 qmm r den vorliegenden Fall zu wählen.

§ 120. Ausschalter. Die Ausschalter dienen zur raschen und quemen Herstellung der Verbindung zwischen den Hauptleitungen d der Maschine bezw. den Sammelschienen des Schaltbrettes und r Herstellung der Verbindungen zwischen den Hauptleitungen und ren Abzweigungen, sowie zum Aufheben dieser Verbindungen.

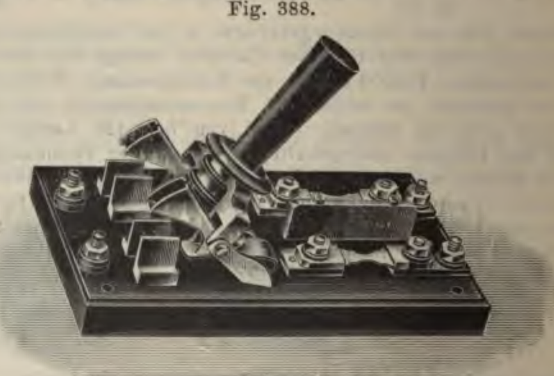
Als Ausschalter am Hauptschaltbrett des Maschinenraumes kommen hauptsächlich zur Anwendung die **Hebelausschalter.** Fig. 387 stellt einen

Fig. 387.



einpoligen Hebelausschalter für die maximale Stromstärke 50 Ampère von **Voigt u. Haeffner**, Bockenheim, dar. Fig. 388 ist ein zweipoliger Hebelausschalter für Stromstärken bei 25 Amp. mit Sicherung von derselben Firma, ebenso Fig. 389 ein einpoliger Hebelausschalter für Stromstärken bis 400 Amp.

Fig. 388.



Alle diese Ausschalter kommen nur in Anlagen bis 250 Volt Betriebsspannung zur Anwendung.

Drehknopfausschalter. Fig. 390 stellt einen einpoligen Drehknopfausschalter (**Voigt u. Haeffner**, Bockenheim) für 110 Volt und Ströme bis 1 Amp. dar. Ausschalter dieser Art dienen zum Ein- und Ausschalten einzelner Glühlampen sowie Gruppen derselben. Fig. 391 zeigt einen zweipoligen Drehknopfausschalter derselben Firma.

In Fig. 392 bis 396 sind die Installationsschalter der Firma Siemens Halske für trockene Räume dargestellt. Die Schalter der Type H be-

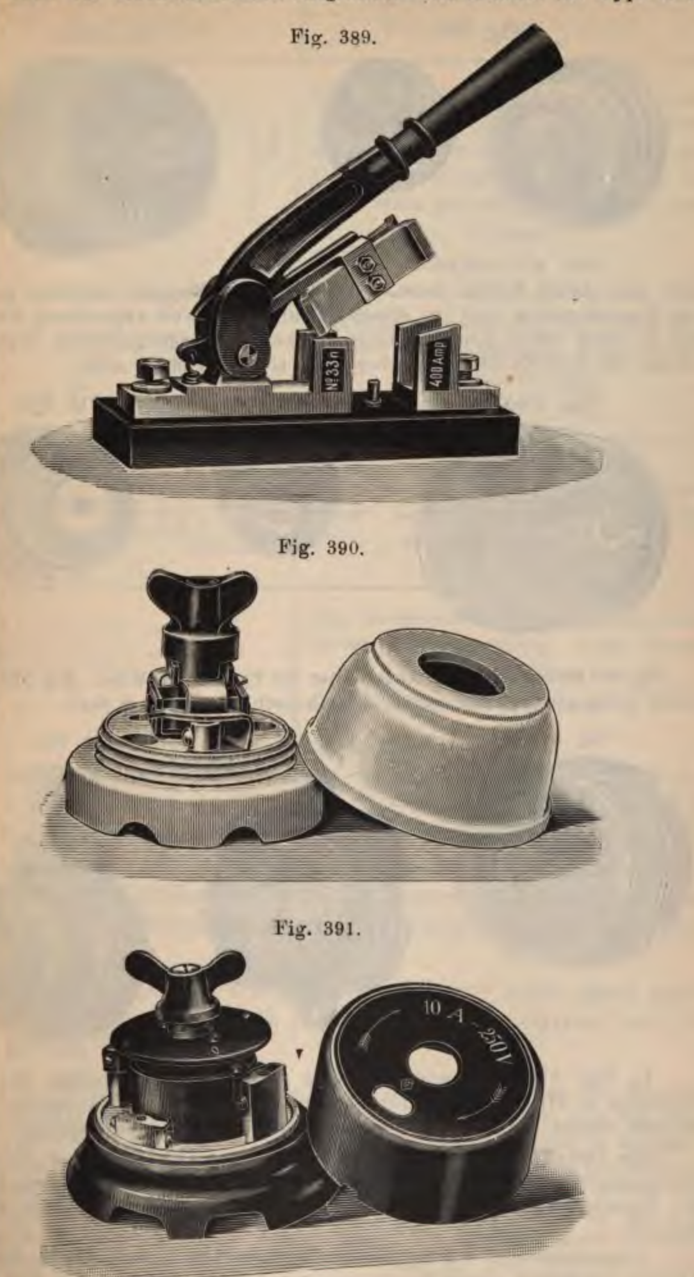


Fig. 389.

Fig. 390.

Fig. 391.

sitzen Sockel, Kappen und Griffe aus isolierendem Material. Die Ausschalte- und Stromschlufsstellungen sind durch einen Pfeil auf dem runden

Fig. 392. Fig. 393a.



Griff und durch Kreise bezw. Pfeile auf den Kappen sichtbar gemacht. Alle Kontaktstücke sind in diesen Schaltern federnd angeordnet, und zwar sind je zwei einen Kontakt bildende nach entgegengesetzten Richtungen federnd, so dafs die Stromunterbrechung sicher erfolgen mufs.

Fig. 393b. Fig. 394. Fig. 395.

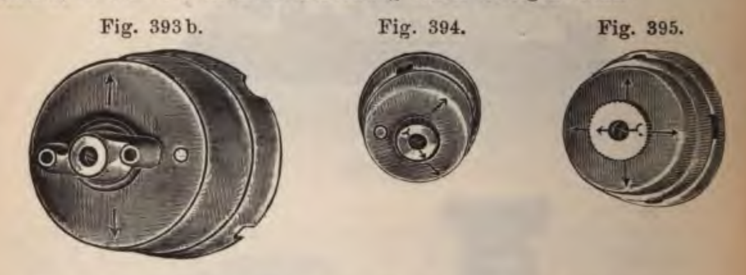
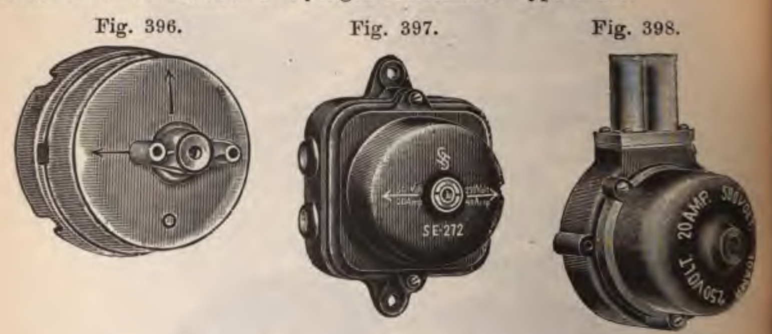


Fig. 392 stellen einpolige Ausschalter der Type H und S dar. Fig. 393a und b stellen einen ebensolchen zweipoligen Ausschalter Type S dar.

Fig. 396. Fig. 397. Fig. 398.



In Fig. 394, 395 und 396 sind Installationsumschalter der Firma Siemens u. Halske für Stromstärken bis 20 Ampère dargestellt. Diese Schalter dienen für folgende Zwecke (siehe nebenstehende Tabelle).

Die Installationsschalter für feuchte Räume (Fig. 397) sind bis auf die Leitungseinführung ebenso konstruiert wie die oben beschriebenen Schalter. Die Schalter Fig. 398 dienen für Rohrmontage in nassen und feuc Räumen.

Dosenausschalter werden für die Stromstärken 2, 4, 6, 10, 15, 20, 3 Ampère hergestellt, sowie für Spannungen bis 125, 250 und 500 Volt.

Nr.	Schaltung	Die Schalter dienen
1		zum Ein- und Ausschalten einer Lampengruppe von zwei Stellen aus — Hotelschaltung — oder zum wechselseitigen Umschalten zweier Lampengruppen von einer Stelle aus (keine Unterbrechungsstellung) Schalter (Fig. 395)
2		zum wechselseitigen Ein- und Ausschalten zweier Lampengruppen (eine Unterbrechungsstellung) Schalter (Fig. 394)
3		zum wechselseitigen Ein- und Ausschalten zweier Lampengruppen (zwei Unterbrechungsstellungen)
4		zum stufenweisen Ein- und Ausschalten zweier Lampengruppen (eine Unterbrechungsstellung) Schalter (Fig. 396)

§ **121. Umschalter.** 1. Zweipolige Umschalter für Volt-eter und Präcisionsinstrumente für drei Stromkreise werden in er in Fig. 399 dargestellten Form von der A. E. G. Berlin hergestellt. ieselben dienen z. B. dazu, die Spannungsdifferenzen zwischen den olklemmen der Maschinen bezw. Akkumulatoren und die Spannungs-fferenz in der Lichtleitung mit demselben Voltmeter zu messen (vergl. 132).

2. Umschalter für Maschinen. Fig. 400 stellt einen zwei-oligen Umschalter der A. E. G. Berlin für drei Stromkreise und für tröme bis 200 Ampère.

Die beiden äufseren grofsen Kontakte werden entweder an die Pole der ynamo gelegt, und der Strom der letzteren kann in einen der drei von-nander getrennten Stromkreise, welche an die inneren kleineren Kontakt-ücke gelegt sind, gesandt werden, oder die vorhandenen Dynamos (siehe § 131) nd an die inneren Kontakte zweipolig angeschlossen, während die an die iden äufseren Kontaktstücke geschlossene Hauptleitung mit jeder der drei ynamos in Verbindung gesetzt werden kann. Fig. 401 zeigt einen von der-ben Firma gelieferten zweipoligen Umschalter für vier Stromkreise mit nterbrechung für Ströme bis 400 Amp.

In Fig. 402 ist der **Generalumschalter** dargestellt, fü
Anschlufs von vier Dynamomaschinen.

Fig. 399.



Fig. 400.



Jede der fünf mit Kurbeln drehbaren Wellen I bis V besteht au
in der Mitte voneinander isolierten Hälften, von denen jede vier K
arme hat, die um 90° gegeneinander gestellt sind.

Fig. 401.



Die vier Dynamos sind bezw. zwischen den Metallschienen 1
2—2, 3—3, 4—4 eingeschaltet. An die Enden der fünf Wellen sind

uptleitungen gelegt. Für die in Fig. 402 dargestellte Stellung der Wellen die Dynamo 3 mit allen fünf Hauptleitungen verbunden.

In Fig. 403 ist ein einpoliger Hebelumschalter von **Voigt** u. **Haeffner** die Verbindung des einen Maschinenpoles mit zwei Leitungen dargestellt. Maschinenpol ist dabei mit dem Drehpunkte des Hebels verbunden.

Fig. 402.

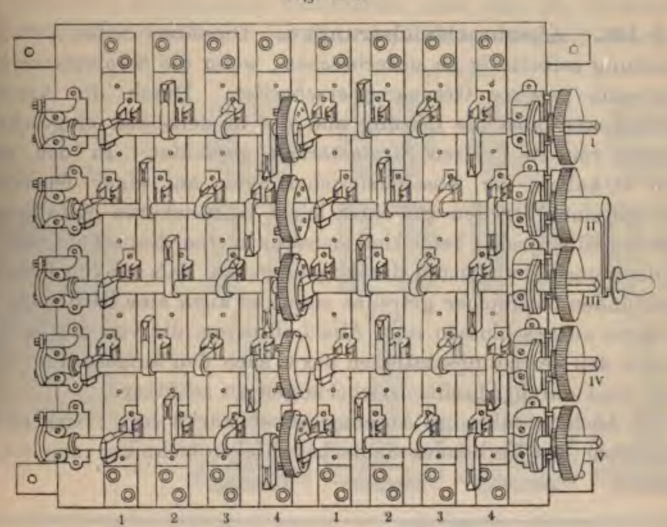
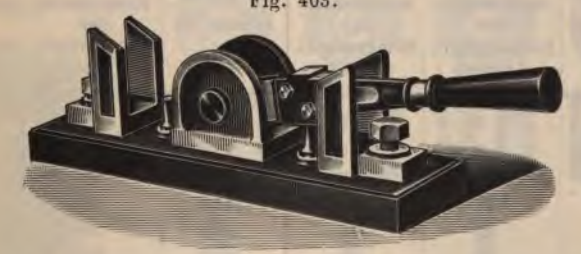


Fig. 403.



Für die Konstruktion der Um- und Ausschalter gelten nach Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker gende Bestimmungen:

1. Die Konstruktion der Schalter mufs derartig ausgeführt sein, dafs dieselben nur in geschlossener oder in offener Stellung, jedoch nicht in einer Zwischenstellung stehen können. Hiervon sind jedoch Hebelschalter für mehr als 50 Amp., sowie alle Hebelschalter in Betriebsräumen ausgenommen.
2. Das Ausschalten mufs in solcher Weise erfolgen, dafs die Bildung eines dauernden Lichtbogens unterbleibt.
3. Auf jedem Schalter soll die normale Betriebsstromstärke ange-

gegeben sein. Alle Metallkontakte sind dabei als Schleifkontakte auszubilden.

4. In Räumen, wo entzündliche oder explosive Stoffe vorkommen, sind Aus- und Umschalter überhaupt nicht oder nur unter zuverlässigem Abschlufs zu verwenden.

§ 122. **Abschmelzsicherungen.** Dieselben haben den Zweck, die Leitung selbsttätig zu unterbrechen, wenn die Stromstärke in derselben eine gewisse Grenze überschreitet. Durch die Abschmelzsicherung sind also die Leitung und die in derselben eingeschalteten Apparate vor zu grofsen Stromstärken geschützt. In den meisten Fällen enthalten die Abschmelzsicherungen auf einer feuersicheren Unterlage einen Streifen aus einer leicht schmelzbaren Metalllegierung oder einen Silberdraht; beide sind meistens in einer Kapsel eingeschlossen oder doch von Schutzkästen derartig umgeben, dafs sie von brennbaren Gegenständen feuersicher getrennt sind und auch eine Berührung durch Unbefugte ausgeschlossen ist. Alle Leitungen, die von der Schalttafel aus nach den Verteilungsstationen bezw. nach den aufgestellten Motoren führen, sind durch Abschmelzsicherungen zu schützen.

Die höchste zulässige Abschmelzstromstärke ergibt sich nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker aus folgender Tabelle:

Drahtquerschnitt in qmm	Normalstromstärke der Sicherung in Ampère	Abschmelzstromstärke der Sicherung in Ampère	Drahtquerschnitt in qmm	Normalstromstärke der Sicherung in Ampère	Abschmelzstromstärke der Sicherung in Ampère
0,75	6	12	95	165	330
1	6	12	120	200	400
1,5	6	12	150	235	470
2,5	10	20	185	275	550
4	15	30	240	330	660
6	20	40	310	400	800
10	30	60	400	500	1000
16	40	80	500	600	1200
25	60	120	625	700	1400
35	80	160	800	850	1700
50	100	200	1000	1000	2000
70	130	260			

Die Sicherung kann für eine Leitung schwächer gewählt werden, als sie nach dieser Tabelle sein sollte.

Abschmelzsicherungen sind überall dort in der Leitung einzuschalten, wo der Querschnitt der Leitung in der Richtung nach der Verbrauchsstelle (Lampen oder Motor) kleiner wird, und dabei soll in

einem Abstande von höchstens 25 cm von der Abzweigstelle die Sicherung angebracht werden. Ist das letztere nicht oder nur schwer ausführbar, so mufs die von der Hauptleitung nach der Sicherung führende Leitung mit der Hauptleitung gleichen Querschnitt haben. Die Konstruktion der Sicherung mufs derartig sein, dafs die Bildung eines dauernden Lichtbogens unterbleibt, und dafs die Verwendung zu starker Abschmelzsicherungen für eine Leitung ausgeschlossen wird.

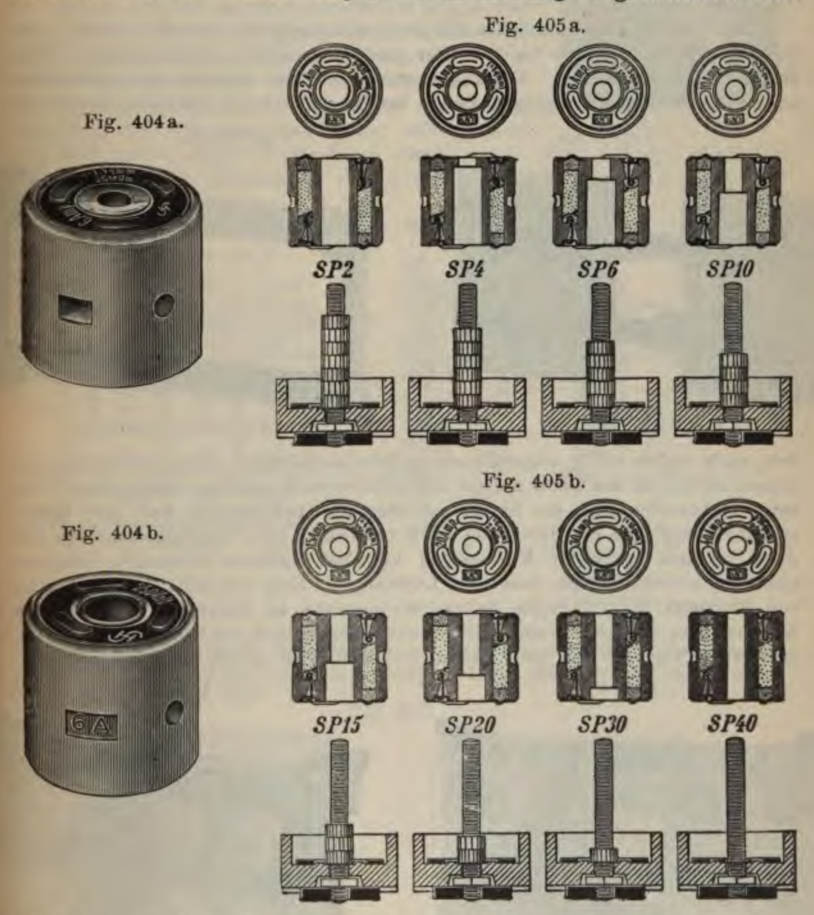


Fig. 405 a.

Fig. 404 a.

Fig. 405 b.

Fig. 404 b.

Es ist unstatthaft, die aus weichen plastischen Metallen hergestellten Sicherungsstreifen direkt unter die Kontaktschrauben der Sicherung zu bringen, vielmehr sollen die Enden der Schmelzstreifen oder -drähte in besondere Kontaktstücke aus Kupfer oder Messing eingelötet sein, welche, sauber gereinigt von Oxyd, unter die Schrauben der Sicherung zu bringen sind. Die Normalstromstärke ist auf dem auswechselbaren Teile der Sicherung anzugeben.

Mehrere von den Verteilungsstationen auf den Schiffen ausgehende Leitungen können eine gemeinsame Sicherung von höchstens 6 Ampère Normalstromstärke erhalten. Dabei brauchen Abzweigungen von diesen Verteilungsleitungen, wenn dieselben auch geringeren Querschnitt haben, nicht besonders gesichert zu werden.

In allen Räumen, wo explosive Stoffe auftreten können, muſs das Anbringen von Sicherungen unterbleiben.

Wir beschreiben zunächst die S-Sicherungen von Siemens und Halske für Spannungen bis 250 Volt und Stromstärken bis 40 Ampère mit Patronen S. P. (Fig. 404). Diese Sicherungspatronen besitzen Schmelzdrähte aus Silber, die in ihrer ganzen Länge im Innern des aus Porzellan bestehen-

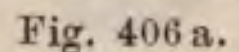


Fig. 406 a.

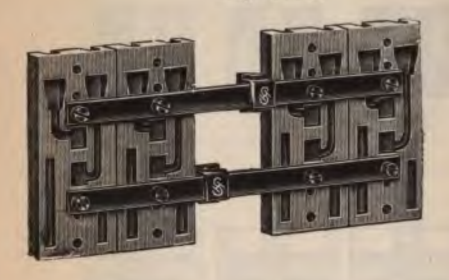


Fig. 406 b.



den, nach auſsen völlig abgeschlossenen Patronenkörpers liegen. Parallel zum Schmelzdraht ist ein nach auſsen hin sichtbarer Kenndraht angeordnet, der beim Durchschmelzen der Sicherung ebenfalls durchbrennt und also leicht erkennen läſst, ob die Sicherung noch unverletzt oder durchgeschmolzen ist. Auch bei dem heftigsten Kurzschluſs mit der höchsten zulässigen Betriebsspannung bildet sich kein dauernder Lichtbogen. Eine irrtümliche Verwendung von Patronen für zu groſse Schmelzstromstärke ist durch die mechanische Konstruktion ausgeschlossen. Die Unverwechselbarkeit wird dadurch erreicht, daſs (siehe Fig. 405) in den Patronen verschieden groſse Aussparungen an-

Fig. 406 c.

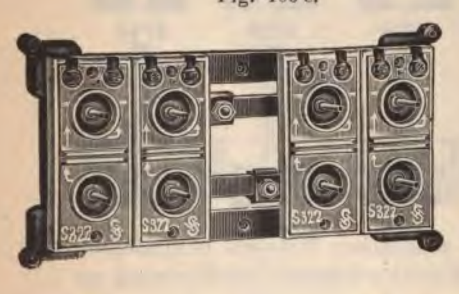
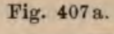


Fig. 406 d.



gebracht sind, denen entsprechende Ansätze auf dem Patronenbolzen gegenüber stehen, welche durch 5 mm hohe Stellmuttern gebildet werden. Jeder Normalstromstärke entspricht eine bestimmte, auf den Patronen angegebene Zahl von Stellmuttern. Die S-Sicherungen werden für den Aufbau von Verteilungssicherungen für die Verteilungsstationen verwendet (Fig. 406a b

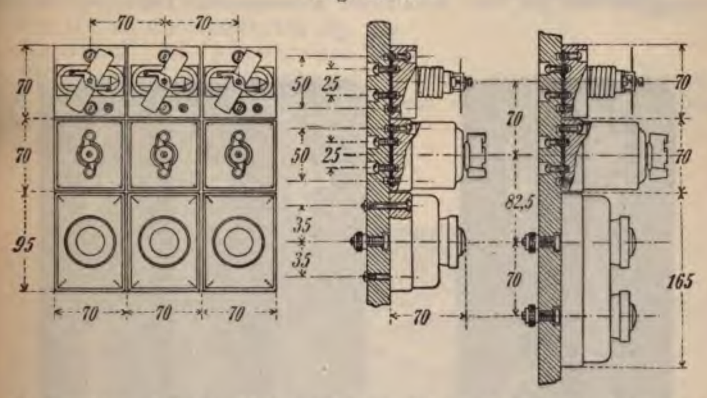
g. 406 d). Die Messingschienen, an welche die Hauptleitungen vom Maschinen-
um angeschlossen werden, sind in Verbindung mit den Patronenbolzen
ig. 406 a). Sämtliche vier Zweigleitungen (Fig. 406 d)
id zweipolig gesichert. Solche Verteilungssiche-
ngen werden auch für eine gröfsere Zahl von
veigleitungen hergestellt. Die Montage der Ver-
ilungssicherungen erfolgt auf Holzrahmen, auf
hiefer- oder Marmortafeln.


Fig. 407 a.



In Fig. 407 sind einpolige Ausschalter (Fig. 407 a)
Verbindung mit Sicherungen und Stromindikatoren
r Verteilungskästen (Fig. 407 b) montiert. Die
romindikatoren bestehen der Hauptsache nach aus
ner Spule mit Eisenkern und einem drehbaren
agneten, der bei stromloser Spule schräg sich
ellt und hinter einem rechteckigen Bleche liegt. Fliefst Strom durch die
pule, so wird der Magnet so weit gedreht, dafs er horizontal liegt und
chtbar wird.

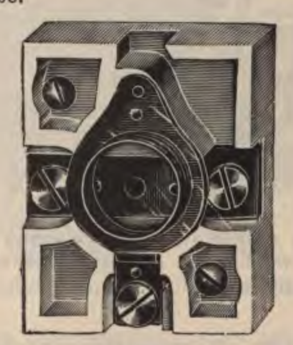
Fig. 407 b.



Universal-A. E. G.-Sicherungen. Fig. 408 stellt die kleinen Siche-
ngen dar, für welche die Schmelzstöpsel (Fig. 409) für Spannungen bis

Fig. 408.





Volt und Stromstärken bis 6 Amp. gebraucht werden. Die Schmelz-
psel sind unverwechselbar durch die Länge des Gewindes und die Höhe
Kontaktschrauben (Fig. 409 a u. b). Fig. 410 stellt eine Normalsicherung der

A. E. G. Berlin dar, welche für Spannungen bis 550 Volt und Stromstärk
bis 20 Amp. gebraucht werden kann.

Fig. 409 a.



Fig. 410.

Fig. 409 b.

Fig. 411 gibt die Einrichtung für Sicherungen mit Schutzkasten a
Schiefer, die für die vom Schaltbrett abzweigenden Leitungen verwende

Fig. 411.

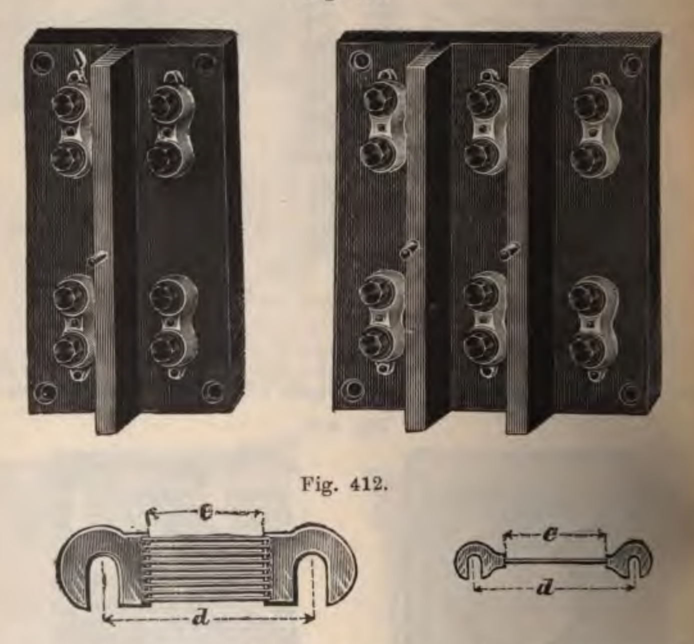


Fig. 412.

werden, ebenso auch zur Sicherung der Dynamo dienen. Für diese Siche-
rungen werden die in Fig. 412 dargestellten Silberdrahtschmelzeinsätze für
Stromstärken bis 1000 Amp. verwendet.

**§ 123. Verzweigungskästen für Verteilungsstationen. An-
schlufsdosen.** Für die elektrischen Leitungen an Bord hat sich die
für Leitungen an Land sehr gebräuchliche Verbindung der Abzwe-

ungen durch Lötung oft als ungeeignet erwiesen, und zwar wegen der errungen im Schiffskörper und auch wegen der Schwierigkeit des uffindens schlechter Lötstellen bei den oft sehr eng zusammenliegenen Leitungen. Für die Gänge und bewohnten Räume der Passagierampfer wählt man die in Fig. 406 rgestellten Verteilungssicherungen ebst Ausschalter von Siemens und alske, A. G., Berlin, oder ähnliche erteilungskästen anderer Firmen. ür Maschinen- und Kesselräume, wie für Aufsenleitungen u. s. w. benutzt man auf Kriegs- und Handelshiffen die in Fig. 413 u. ff. darestellten wasserdichten Abzweigisten mit Sicherungen.

Fig. 413.



Fig. 413 ist die Ausführung der cherungskasten für Abzweigungen ach Glühlampen. Da die Leitungen in vielen Fällen als Ringleitungen erlegt werden müssen, so dienen die Stutzen zu beiden Seiten des Kastens ır Ein- und Weiterführung der Leitungen.

Fig. 414.



Fig. 414 zeigt die Einrichtung eines Sicherungskastens für acht Glühapen, jede Abzweigung ist dabei zweipolig gesichert. Die Abschmelzeifen werden an den vertikal gestellten Kontaktstücken durch Schrauben estigt. Fig. 413 u. 414 sind Sicherungskasten von Ed. J. v. d. Heyde, Berlin.

Anschlufsdosen. Die in Fig. 415 u. ff. dargestellten Anschlufsdosen dienen zum Einschalten transportabler Lampen, Ventilatoren u. s. w.

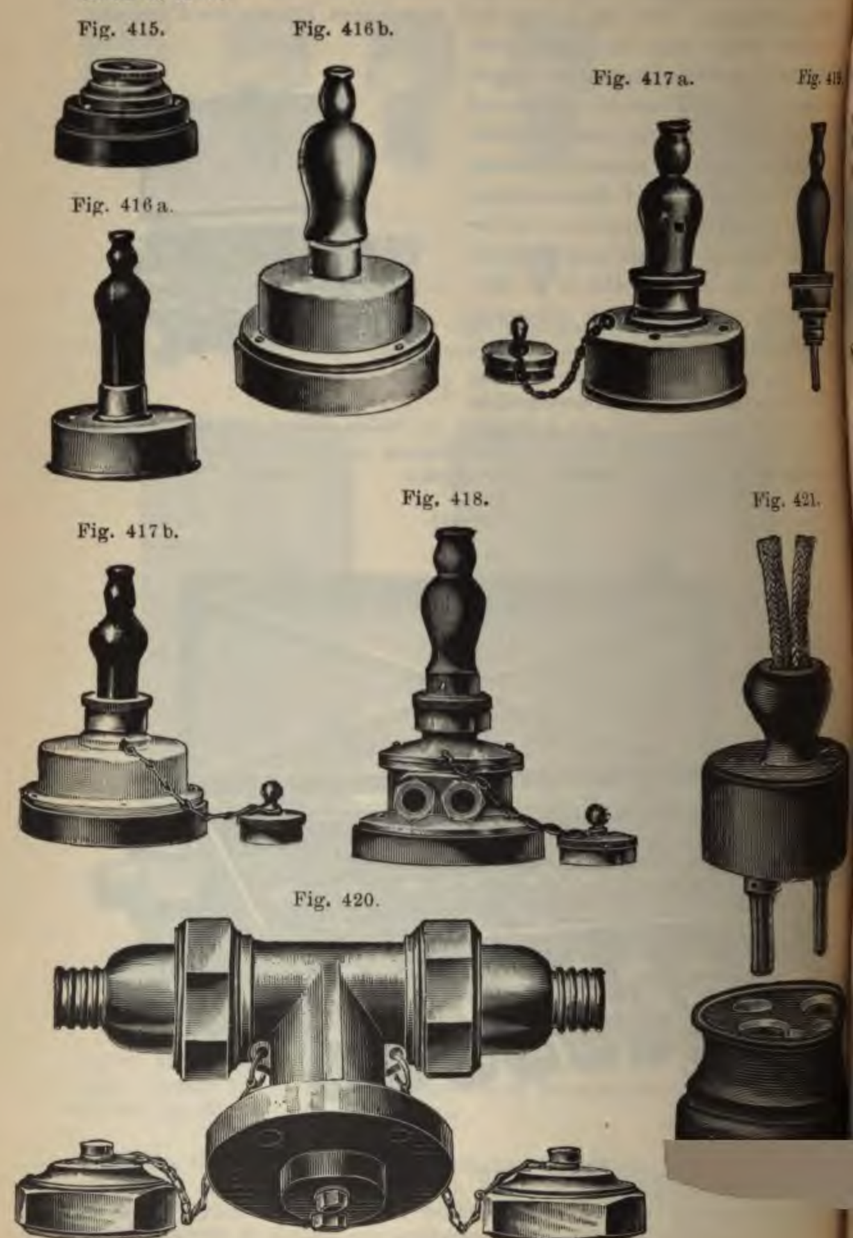


Fig. 415. Fig. 416 b. Fig. 417 a. Fig. 419. Fig. 416 a. Fig. 418. Fig. 421. Fig. 417 b. Fig. 420.

In Fig. 415 ist eine Anschlufsdose für Stehleuchter und in Fig. 416 sind ıschlufsdosen für Kammern dargestellt, welche von der Firma Ed. J. von ›r Heyde, Berlin, geliefert werden. Von derselben Firma werden die ıschlufsdosen (Fig. 417) für Maschinen und Kesselräume hergestellt, ebenso ıch die Anschlufsdosen (Fig. 418) für Topp-, Positions- und Fallreep-Laternen wasserdichter Konstruktion. Für die Anschlufsdosen (Fig. 417 und 418) der Doppelkontaktstöpsel mit Verschraubung (Fig. 419) geeignet.

Fig. 420 stellt eine zweifache Anschlufsdose mit Doppelkontaktstöpseln d Verschraubungen zur Beleuchtung von Torpedobooten u. s. w. dar. In wohnten Räumen dienen für transportable Lampen die in Fig. 421 darstellten Anschlufsdosen aus Porzellan.

Fünfzehntes Kapitel.

tromerzeugung und Verteilung der elektrischen Energie.

§ 124. Allgemeines. Arten der Verteilung. Bei der direkten 'erteilung der elektrischen Energie wird der elektrische Strom von em Energieerzeuger (Dynamo) durch die Leitungen ohne Umwandıng an die Energieaufnehmer (Lampen und Motoren) abgegeben; ynamo und Energieaufnehmer liegen in demselben Stromkreise.

Bei der indirekten Verteilung liegen dagegen Energieerzeuger)ynamo) und Energieaufnehmer in getrennten Stromkreisen. Bei der rekten Verteilung, die auf Schiffen fast ausschliefslich zur Anwenıng kommt, haben wir eine unmittelbare Verbindung der Energiezeuger mit dem Energieabnehmer, dagegen bei den indirekten stemen der Verteilung nur eine mittelbare Verbindung zwischen iden.

Bei beiden Arten der Verteilung kann man Gleichstrom oder Wechselom verwenden.

Bei der indirekten Verteilung handelt es sich stets um eine Umwandıg des vom Energieerzeuger gelieferten (primären) Stromes durch Umrmer (Transformatoren oder Motorgeneratoren).

Der Transformator ist ein Apparat für Wechselströme ohne bewegte ile, welcher die zugeführte elektrische Leistung in elektrische Leistung ıwandelt, wobei nur die die Leistung bestimmenden Faktoren, Spannung und romstärke, verändert werden (vergl. § 76). Motorgenerator ist dagegen ne Doppelmaschine, die aus der direkten mechanischen Kuppelung eines otors mit einem Generator besteht. Dadurch kann der dem Motor zuleitete Wechselstrom (einphasiger oder mehrphasiger) in Gleichstrom verındelt werden und umgekehrt; auch kann ein Gleichstrom mit höherer annung in solchen von niedriger Spannung und umgekehrt verwandelt rden.

Fig. 422 zeigt einen Drehstrom-Gleichstromumformer der Union-Elektri-gesellschaft, der aus einem Drehstrommotor und einer damit direkt kuppelten Gleichstromdynamo besteht.

Zu den Motorgeneratoren gehört auch der rotierende Umformer, i welchem sich die Umwandlung in einer einzigen Maschine vollzieht,

deren Anker z. B. Wechselstrom oder Drehstrom durch Schleifringe erhält, während er Gleichstrom an den Bürsten seines Kollektors abgibt.

Fig. 423 stellt einen rotierenden Umformer der Union-Elektrizitätsgesellschaft dar, der dreiphasigen Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt.

Fig. 422.



Da die hochgespannten Wechselströme unter Anwendung von Transformatoren sich besonders für die Energieverteilung auf weite Entfernungen eignen (Kraftübertragung Lauffen — Frankfurt a. M. mit einer Länge von 175 km), so geschieht die Energieverteilung in diesen Fällen zunächst durch

Fig. 423.



dreiphasige Wechselströme hoher Spannung, die dann durch Transformatoren in solche mit der gebräuchlichen Betriebsspannung und eventuell mit rotierenden Umformern in Gleichstrom umgewandelt werden, wenn dieser aus praktischen Gründen (z. B. zum Laden eines Akkumulators, für chemische Betriebe u. s. w.) erforderlich ist.

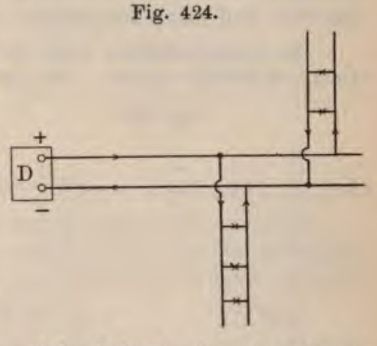
Derartige Umformer kommen auch in solchen Betrieben, z. B. an Bord Schiffe zur Anwendung, wo Gleichstrom mit der Spannung 110 Volt in :hen mit der Spannung 20 bis 32 Volt zum Betriebe der Schiffstelegraphen wandelt wird.

Ein Mittelding zwischen den Systemen mit direkter und denen mit irekter Verteilung sind die Systeme mit Akkumulatorenbetrieb, wo der entliche Stromerzeuger die Dynamo ist und z. B. nach Einstellung des schinenbetriebes oder bei Störungen an der Dynamo der Akkumulator ein die Stromlieferung übernimmt.

Nach der Schaltung der Lampen u. s. w. unterscheiden wir:

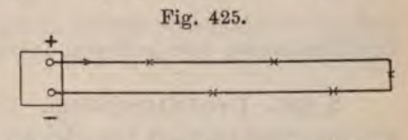
1. Parallelschaltung (Fig. 424, vergl. S. 90). Der Strombrauch steigt mit der Zahl der eingeschalteten Lampen und Moen. Zwischen zwei Punkten der n der Maschine D ausgehenden uptleitungen oder deren Abeigungen ist überall die gleiche annungsdifferenz vorhanden, von nem geringen Spannungsverluste der Leitung abgesehen. Die rallel geschalteten Lampen sind so sämtlich für die gleiche Spanng hergerichtet, ihr Stromverauch kann verschieden sein. Die ampen können einzeln oder in uppen ausgeschaltet werden, ohne dafs dadurch die übrigen geört werden, d. h. die Löschbarkeit dieses Systems ist sehr grofs. a die Hauptleitungen starke Ströme führen, so ist das Kupfergewicht r Leitungen verhältnismäfsig grofs gegenüber dem System der

Fig. 424.



2. Serienschaltung (Fig. 425), bei welcher derselbe Strom cheinander durch die Lampen fliefst. Die Spannungsdifferenz zwischen n Polklemmen der Dynamo ist sich der Summe der in den zelnen Lampen verbrauchten annungen, vermehrt noch um n Spannungsverlust in der Leig. Die Lampen sind bei dieser Schaltung, die sich durch Einfacht und geringes Kupfergewicht der Leitungen auszeichnet, sehr abngig voneinander. Für den Betrieb der Glühlampen und der Moen ist die Parallelschaltung (Betrieb mit konstanter Spannung) am bräuchlichsten. Über die Serienschaltung der Bogenlampen siehe 103.

Fig. 425.



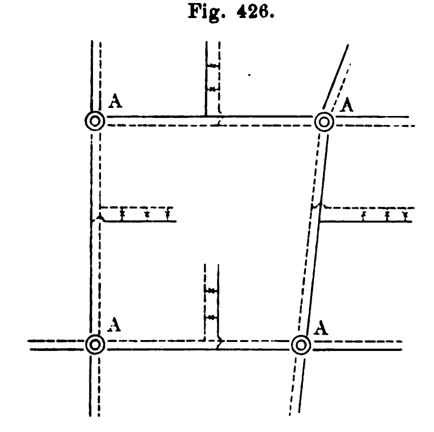
Nach der Zahl der Leiter können wir die Leitungssysteme einen in Zwei, Drei- und Mehrleitersysteme. Von diesen hat Zweileitersystem mit Gleichstrom die gröfste Bedeutung für den ktrischen Betrieb auf Schiffen. Die meisten städtischen Centralen, elektrischen Anlagen grofser Fabriken und Werften sind dagegen

vielfach nach dem Dreileitersystem mit Gleichstrom ausgeführt. Dreileitersysteme mit den Spannungen 80 und 160 Volt finden sich auch auf amerikanischen Kriegsschiffen (vergl. Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 54, S. 1606 u. f., 1900).

§ 125. **Zweileitersystem** (Fig. 424). Dabei sind durch das mit elektrischer Energie zu versorgende Gebiet zwei Leitungen (Hin- und Rückleitung) gezogen und verzweigt bis zu den einzelnen Lampen, die zwischen den beiden Leitungen bezw. deren Abzweigungen parallel geschaltet werden. Meist werden diese Anlagen mit der Betriebsspannung 110 Volt, für Anlagen an Land auch mit der Spannung 220 Volt und mehr ausgeführt.

Das Zweileitersystem kann als direktes System für Gleich- und Wechselstrom verwendet werden. Als indirektes System wird dasselbe für einphasigen Wechselstrom bei Anwendung von Transformatoren benutzt (vergl. § 76).

Fig. 426.



Bei grofsen Anlagen an Land legt man ein ganzes System von Verteilungsleitungen, die die Maschen eines Netzes bilden (Fig. 426). Von der Centrale aus gehen Leitungen (Speiseleitungen) unverzweigt nach Verteilungskästen A, deren Lage durch die Verteilung der an das Netz angeschlossenen Energieabnehmer bestimmt ist. Von den Verteilungsleitungen aus erfolgt dann der Anschlufs der Konsumenten. Derartige Zweileiteranlagen sind für Beleuchtungsgebiete mit etwa 500 bis 700 Radius bei 110 Volt Betriebsspannung geeignet. Ist der mit Energie zu versorgende Bereich gröfser, so wählt man 200 bis 220 Volt als Betriebsspannung oder geht zum Dreileitersystem über.

§ 126. **Dreileitersystem.** Denkt man zwei Zweileiternetze von gleicher Beschaffenheit und gleicher Verteilung der Lampen (Fig. 427) zusammengefügt, so dafs beide Maschinen in Reihe geschaltet sind, so entsteht das System (Fig. 428) mit drei Leitern: + -Aufsenleiter, Mittel- (Null-) Leiter und —-Aufsenleiter. Der Mittelleiter ist stromlos, wenn jeder Lampe auf der einen Seite desselben eine gleich beschaffene auf der anderen Seite entspricht, oder wenn die Belastung zu beiden Seiten des Mittelleiters dieselbe ist; bei ungleicher Belastung beider Seiten führt der Mittelleiter die Differenz der Ströme in den Aufsenleitern.

Der Mittelleiter kann den halben Querschnitt der beiden Aufsenleiter erhalten, wenn grofse Belastungsdifferenzen zwischen beiden Seiten nicht vorkommen. Die Spannungsdifferenz zwischen dem Nullleiter und jedem

senleiter beträgt 110 Volt, seltener noch 220 Volt; zwischen den Aufsen-
rn dagegen 220 bezw. 440 Volt. Ist der Mittelleiter von gleichem Querschnitt
die Aufsenleiter, so ist die Löschbarkeit der Lampen so unbeschränkt
im Zweileitersystem. Die Verbrauchsstellen werden nach Möglichkeit
ngeschlossen, dafs beide Seiten annähernd gleichmäfsig belastet sind.

Bei gleicher Zahl der eingeschalteten Lampen ist

1. im Dreileiternetz für den in Fig. 428 dargestellten Fall gleicher
astung beider Seiten die Stromstärke nur halb so grofs, wie im

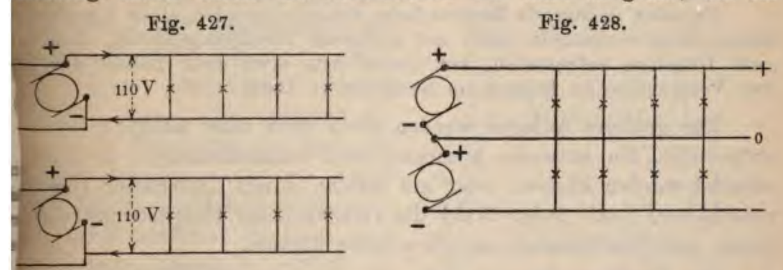


Fig. 427. Fig. 428.

eileiternetz, da im ersteren die Gesamtspannung doppelt so grofs
wie im letzteren;

2. im Dreileiternetz bei gleichem prozentuellen Spannungsverluste
der Leitung der Betrag dieses Spannungsverlustes doppelt so grofs,
e im Zweileiternetz.

Um den Vorteil der höheren Spannung deutlich hervortreten zu lassen,
llen wir 1000 Glühlampen à 16 N.K., 110 Volt, 0,5 Amp.

1. im Zweileiternetz mit 220 Volt schalten, wobei stets zwei Lampen in Reihe sich befinden; Stromstärke insgesamt 250 Amp. Maximaler Spannungsverlust 4,4 Volt;
2. im Zweileiternetz mit 110 Volt; wobei die Lampen einzeln parallel geschaltet sind. Stromverbrauch insgesamt 500 Amp. Maximaler Spannungsverlust in der Leitung 2,2 Volt,

n der höchste Spannungsverlust in der Leitung in beiden Fällen gleich
roz. der Betriebsspannung sein darf. Bedeutet e den Spannungsverlust
der Kupferleitung von der Länge L und dem Querschnitte q bei der
omstärke i, so wird

$$e = \frac{iL}{60 \cdot q}; \quad \text{also } q = \frac{iL}{60 \cdot e}.$$

Der Vergleich der Zahlen in dem obigen Beispiel ergibt sogleich, dafs
der Spannung 220 Volt der Querschnitt bei derselben Leitungslänge auf
vierten Teil reduziert werden kann.

Der Vorteil des Dreileiternetzes mit 2 × 110 Volt gegenüber dem Zwei-
ernetz mit 110 Volt ist nicht ganz so grofs bezüglich des Kupfergewichtes
Leitungen wie in diesem Beispiel, da zu den zwei Leitungen bei 220 Volt
h ein Mittel- (Null-) Leiter hinzutritt.

Dreileiternetze mit 220 Volt Gesamtspannung eignen sich daher zur
rgieverteilung in Bereichen von 1200 bis 1800 m Radius. An Stelle der
len gleich beschaffenen Maschinen (Fig. 428) können auch zwei gleiche
Reihe geschaltete Akkumulatorenbatterieen treten; die Ladung der ganzen
umulatorenbatterie wird dann mit einer Nebenschlufsdynamo ausgeführt,

deren normale Spannung 220 Volt beträgt. Zur Zeit des gröfsten Stromverbrauches sind Maschine und Akkumulator parallel geschaltet (vergl. § 132).

§ 127. Schaltung der Dynamos und Verbindung derselben durch das Schaltbrett mit dem Leitungsnetz. Für kleine elektrische Anlagen genügt meistens eine Dynamo mit Nebenschlufs- oder Compoundwickelung.

Um eine genügende Reserve beim Schadhaftwerden einer Maschine zu haben, ist es vorteilhaft, auch auf kleineren Passagierdampfern mindestens zwei Dynamos aufzustellen, von denen jede etwa zwei Drittel des höchsten Verbrauches an Energie im Netze liefern kann.

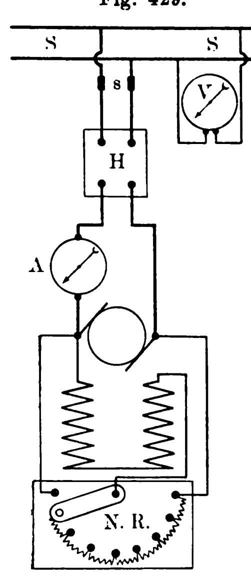
Für gröfsere Anlagen werden stets zwei oder mehrere Dynamos aufgestellt, die entweder zwischen zwei Sammelschienen parallel geschaltet werden können, oder auf welche durch Umschalter (Generalumschalter) nach freier Wahl die verschiedenen Hauptstromkreise für Licht- und Kraftbetrieb verteilt werden können.

Das Parallelschalten der Nebenschlufsdynamos ist einfach auszuführen, erfordert jedoch immerhin ein geschultes Personal; einfacher ist dagegen die Verteilung der elektrischen Energie durch Umschalter, wobei jede Maschine ganz unabhängig von jeder anderen auf den ihr durch den Umschalter zugewiesenen Stromkreis arbeitet (siehe ferner § 131).

Wir betrachten zunächst eine

§ 128. Anlage mit einer Dynamo mit Nebenschlufswickelung (Fig. 429). *SS* sind die Schienen des Schaltbrettes, von denen die Hauptleitungen abzweigen und die durch die Sicherungen *s* und den zweipoligen Ausschalter *H* mit der Maschine verbunden sind. Die Regulierung der Spannung geschieht von Hand mittels des Widerstandes *NR* (vergl. § 41). Beim Abschalten der Magnetspulen ist die Magnetwickelung in sich kurz geschlossen, so dafs der entstehende Extrastrom (vergl. § 30) nicht die Wickelung durchschlagen kann oder sonst zu einer Funkenbildung Veranlassung gibt.

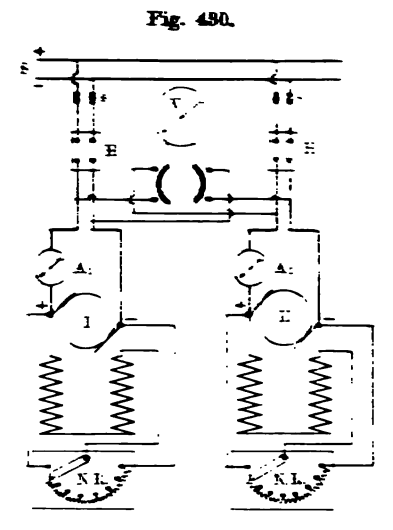
Fig. 429.



§ 129. Zwei oder mehrere Nebenschlufsdynamos in Parallelschaltung (Fig. 430). Beide Maschinen sind durch Leitungen, welche zweipolige Sicherungen *s* und Hebelausschalter *H* enthalten, mit den Sammelschienen *SS* des Schaltbrettes verbunden. Für jede der beiden Maschinen wird ein Ampèremeter (A_1 und A_2) einge-

schaltet. Befindet sich die Maschine I im Betriebe, und steigt der Stromverbrauch über die Leistung derselben hinaus, so wird II parallel geschaltet. Nachdem die Dynamo II auf die richtige Tourenzahl gebracht ist, wird durch den Regulator *NR* zunächst ihre Spannung so reguliert, dafs sie etwa 1 bis 2 Volt kleiner ist als die Spannung der Dynamo I, dann erfolgt der Anschlufs an die Sammelschienen. Die Vergleichung der Spannungen geschieht mit dem Voltmeter *V* nebst zugehörigem Umschalter (vergl. Fig. 399). Dabei wird zunächst die Dynamo II Strom von den Sammelschienen erhalten, also als Motor laufen. Durch den Nebenschlufsregulator von II wird nun die Spannung der Dynamo II langsam erhöht, so dafs sie allmählich an der Stromlieferung teilnimmt. Die Bedingung eines ruhigen Parallelbetriebes erfordert, dafs die antreibenden Maschinen (Dampfmaschinen u. s. w.) sorgfältig wirkende Regulatoren haben, so dafs bei eintretenden Belastungsänderungen die Tourenzahl möglichst konstant bleibt.

Fig. 430.



Durch die Nebenschlufsregulatoren wird die Spannung der Maschinen nachträglich so eingestellt, dafs beide Maschinen entsprechend ihrer Leistung an der Stromlieferung teilnehmen. In den meisten Fällen sind beide Maschinen von derselben Gröfse, so dafs der Energieverbrauch auf beide gleichmäfsig verteilt werden kann.

Soll die Dynamo II von den Sammelschienen abgeschaltet werden, so wird durch den Nebenschlufsregulator ihre Spannung so weit erniedrigt, dafs ihre Stromstärke fast auf Null herabgesunken ist, und dann erfolgt das Ausschalten mittels *H*.

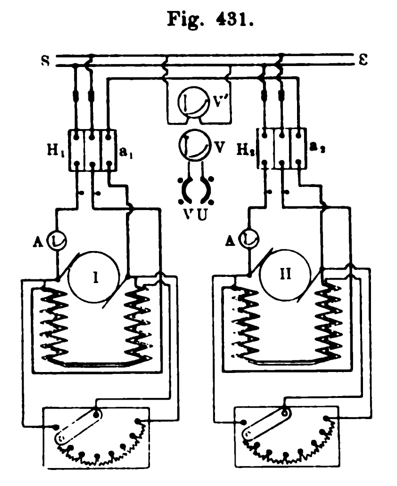
In vielen Fällen ist es vorteilhaft, die Nebenschlufswickelung nicht wie in Fig. 430 an die Bürsten der Dynamo, sondern an die Sammelschienen *SS* zu legen, damit die Magnete der in Betrieb zu setzenden Maschine rasch durch den Strom der anderen Dynamo erregt werden.

In einer der von den Polklemmen der Dynamo nach den Sammelschienen führenden Leitungen kann ein selbsttätiger Minimalausschalter eingefügt werden, der die Leitung unterbricht, wenn die Dynamo stromlos wird.

§ 130. Zwei oder mehrere Dynamos mit gemischter Bewickelung in Parallelschaltung (Fig. 431). Das Parallelschalten dieser Dynamos ist umständlicher als das Parallelschalten der Nebenschlufsmaschinen. Die Bürsten der beiden Maschinen, von denen die Hauptstromwickelung abzweigt, sind durch eine Ausgleichsleitung

miteinander verbunden, die durch die Schalthebel a_1 und a_2 geschlossen wird. Ohne Ausgleichsleitung ist eine richtige Verteilung der Belastung auf die Dynamos unmöglich. Bei Unregelmäfsigkeiten in den Tourenzahlen würde aufserdem der Anker der schneller laufenden Dynamo einen Strom von entgegengesetzter Richtung durch die Hauptstromwickelung der anderen Dynamo senden. Durch den Voltmeterumschalter VU kann das eine der Voltmeter an die von den Dynamos nach den zweipoligen Hebelausschaltern führenden Leitungen angeschlossen werden. Die Verbindungspunkte sind in Fig. 431 besonders bezeichnet. Das zweite Voltmeter V' gibt die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Sammelschienen SS an.

Fig. 431.



Wir setzen voraus, dafs die Maschine I im Betriebe ist, während II ausgeschaltet ist, die Schalthebel a_1 und a_2 sind also offen, ebenso der zweipolige Schalthebel H_2. Zunächst wird der Anker von II auf die richtige Tourenzahl gebracht, und dann werden die Hebel a_1 und a_2 geschlossen, so dafs auch im Betriebe bei verschiedenen Belastungen der Dynamos der Strom in den Hauptstromwickelungen der einzelnen Dynamos gleichmäfsig verteilt wird. Unter Beobachtung des Voltmeters V wird der Nebenschlufsregulator von II so eingestellt, dafs die Dynamo II fast die gleiche Polklemmenspannung wie die Dynamo I hat; ist letzteres erreicht, so wird die Maschine II an die Sammelschienen mittels H_2 angeschlossen und nachträglich werden die Klemmenspannungen beider so reguliert, dafs sie entsprechend ihrer Gröfse an der Stromlieferung teilnehmen.

Um beim Parallelschalten die hinzuzuschaltende Maschine nicht sogleich stark zu belasten, vollzieht man das Einschalten, wenn ihre Spannung etwa 1 bis $1^1/_2$ Proz. geringer ist, als die Spannung der im Betriebe befindlichen. Durch den Nebenschlufsregulator erhöht man dann langsam die Spannung, so dafs die Maschine allmählich an der Stromlieferung teilzunehmen beginnt.

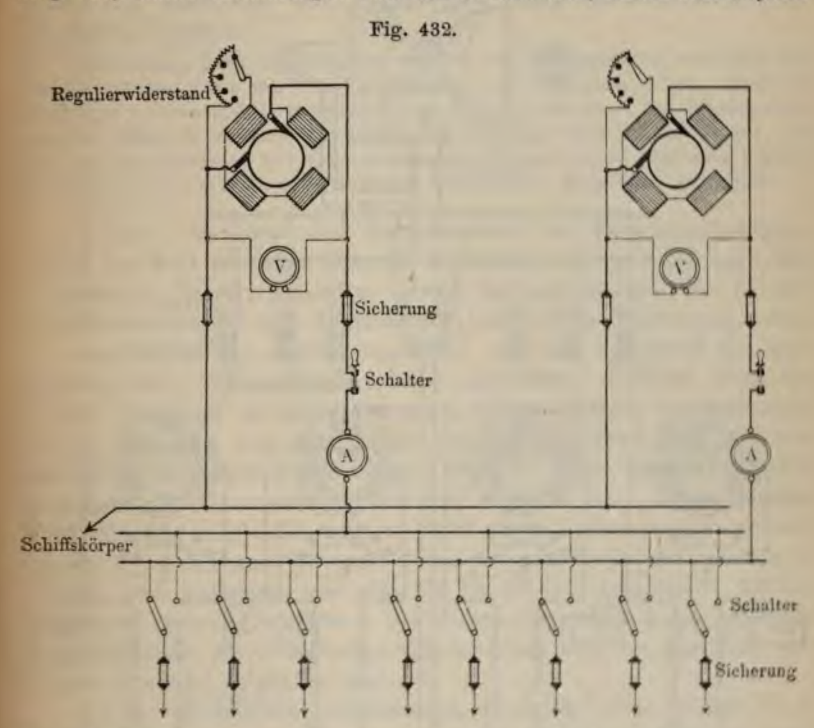
Beim Abschalten einer Maschine verfährt man in genau umgekehrter Reihenfolge, indem zunächst der Ankerstrom durch Einschalten von Widerstand in den Nebenschlufs fast auf Null gebracht ist. Dann wird der Hauptschalthebel H herausgenommen und weiter auch der Hebel a. Sodann kann die zugehörige Betriebsmaschine abgestellt werden.

§ 131. Betrieb mit mehreren Gleichstromdynamos, auf welche nach Wahl durch Umschalter die Stromkreise verteilt werden können.

a) Schaltanlage (Fig. 432) für ein einpolig verlegtes Leitungsnetz, bei welchem also zur Rückleitung des Stromes der Schiffskörper benutzt wird.

Zwei vierpolige Nebenschlufsdynamos sind mit ihren negativen Polklemmen an die oberste der drei Kupferschienen des Schaltbrettes angeschlossen. Die positiven Polklemmen der Maschinen sind bezw. an die zweite und dritte Schiene gelegt. Von jeder der beiden unteren Schienen (Fig. 432) führen Verbindungen nach den Umschaltern, durch welche jeder

Fig. 432.



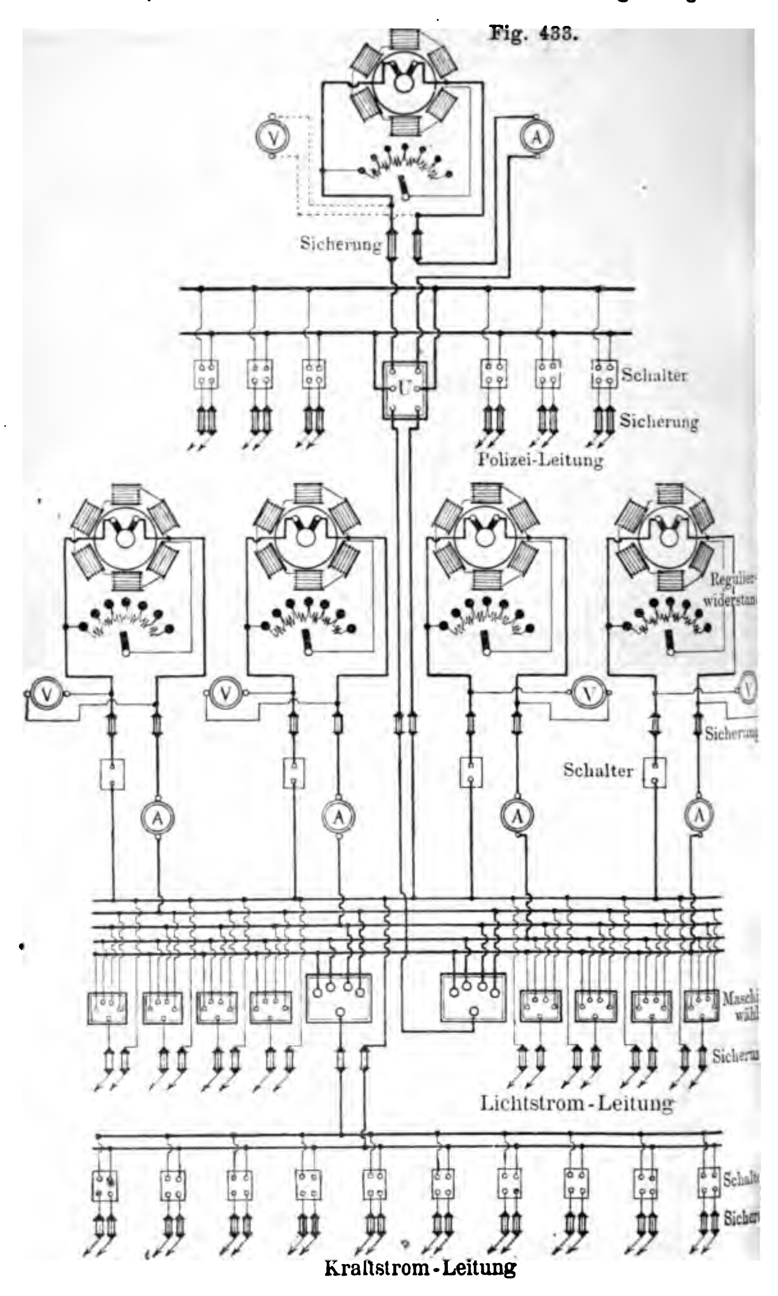
der acht Stromkreise nach Belieben mit der einen oder mit der anderen Maschine verbunden werden kann.

b) Schaltanlage für ein zweipolig verlegtes Leitungsnetz (Fig. 433). Im Hauptmaschinenraume sind vier Dampfdynamomaschinen aufgestellt, deren negative Polklemmen sämtlich an die oberste Schiene des Hauptschaltbrettes gelegt sind. Die positiven Polklemmen dieser Maschinen sind bezw. mit der zweiten, dritten, vierten und fünften Schiene des Hauptschaltbrettes durch eisenbandarmierte Kabel verbunden. Acht Hauptleitungen bilden die an das Hauptschaltbrett angeschlossene Lichtstromleitung und können durch Umschalter (Maschinenwähler) nach Belieben mit jeder der vier Maschinen verbunden werden. Ebenso kann durch einen Umschalter für die Kraftstromleitung von jeder der vier Maschinen Strom entnommen werden.

Eine fünfte Dynamomaschine von derselben Leistung wie die übrigen befindet sich in einem besonderen Raume im Hauptdeck ober-

halb der Wasserlinie. In demselben Raume befindet sich auch Schaltbrett, an dessen beiden Schienen die Polizeileitungen angeschlos

Fig. 433.



nd, welche alle jene Leitungen umfassen, die zum Betriebe von ampen dienen, die für den Dienst, sowie zur Sicherheit des Schiffes, r Passagiere und Besatzung installiert sind. Die Polizeileitungen halten durch einen Umschalter *U* entweder von der fünften Dynamo rom oder auch von einer der vier im Hauptmaschinenraume aufstellten Dynamos.

Neuerdings geht man auf den Schiffen der Kriegsmarine, wie auch der ndelsmarine mehr zur Parallelschaltung der Dynamos über. Dadurch rd eine bedeutende Vereinfachung der Anlage, wie auch des Schaltbrettes zielt. Zugleich ist auch die Bedienung einfacher und übersichtlicher, als s bei den Systemen mit Umschaltern der Fall ist; auch wird eine bessere snutzung der einzelnen im Betriebe befindlichen Maschinen ermöglicht.

§ 132. Dynamo und Akkumulator in Parallelschaltung.

enn an Bord nur eine Dynamo vorhanden ist, so wird nach den rschriften des Germanischen Lloyd für den Betrieb der in den hiffsseitenlaternen und Topplaternen installierten Glühlampen, sowie den Betrieb der Schiffstelegraphen und der Telephone die Auflung einer Akkumulatorenbatterie empfohlen. Dadurch wird der trieb der vorhin genannten Apparate sehr unabhängig von Störungen der Dynamo. Für den Betrieb der Signallaternen wird meistens f den Kriegsschiffen eine Batterie benutzt, deren Spannung gleich r normalen Klemmenspannung der Dynamo ist. Diese Batterie rd tagsüber aufgeladen und ist zur Zeit des Lichtbetriebes meistens n der Dynamo abgeschaltet. Als Stromquelle für die Telegraphen u. s. w. erden zwei Batterieen von etwa 30 bis 36 Volt aufgestellt, die abechselnd geladen werden. Bei diesen Betrieben treten also die kkumulatoren als selbständige Stromquellen auf, die nicht mit der ynamo parallel geschaltet sind.

In den elektrischen Beleuchtungsanlagen an Land, bei den Zweind Dreileitersystemen, dagegen kommt der **Akkumulator meistens** n **Parallelschaltung mit einer Nebenschlufsdynamo** vor. ierauf ist schon in § 84 hingewiesen.

Die Schaltung für eine Zweileiteranlage ist in Fig 434 schemasch dargestellt.

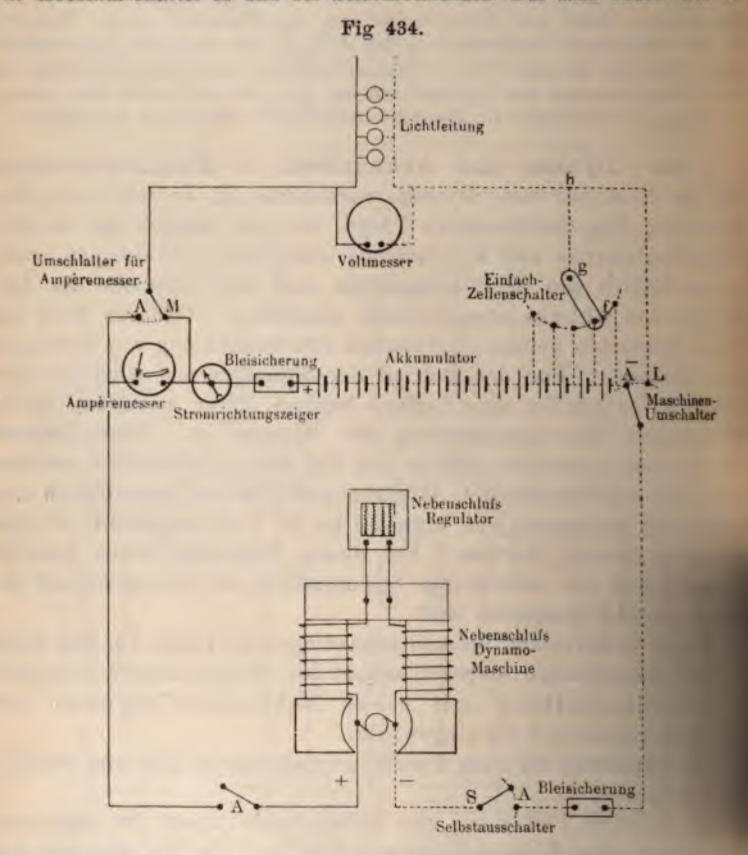
Die positive Polklemme der Nebenschlufsdynamo ist durch den trommesser, den Stromrichtungsanzeiger und die Bleisicherung mit em positiven Pol des Akkumulators verbunden. In der Rückleitung r Maschine hin liegt der selbsttätige Minimumausschalter *SA* iehe § 84). Die Schaltung (Fig. 434) ist so ausgeführt, dafs während er Ladung Lampen brennen können.

Schaltung zur Ladung: Die Dynamo wird mittels des Nebenschlufsgulators auf eine Spannung gebracht, die 1 bis 2 Volt höher ist, als die r ganzen Akkumulatorenbatterie. Der Maschinenumschalter wird auf *A* gellt. Der Hebelausschalter *A* wird geschlossen und sodann auch der selbsttige Ausschalter *SA*. Unter Beobachtung des Strommessers wird die emmenspannung der Dynamo so reguliert, dafs der Ladestrom seine nor-

male Stärke annimmt. Man stellt sodann den Zellenschalter so ein, daſs die Spannung in der Lichtleitung den vorgeschriebenen Betrag hat. Es empfiehlt sich, ein Voltmeter nebst Voltmeterumschalter für drei Stromkreise zu verwenden, um mit demselben Voltmeter die Spannung zwischen den Polen des Akkumulators, zwischen den Polklemmen der Dynamo und in der Lichtleitung zu messen.

Schaltung zur Entladung, während die Dynamo auſser Betrieb ist. Der Hebelausschalter A und der Selbstausschalter SA sind offen. Der Um-

Fig 434.



schalter für das Ampèremeter ist auf A gestellt. Der Hebel des Zellenschalters ist so eingestellt, daſs in der Lichtleitung die Betriebsspannung vorhanden ist.

Die Batterie sei im Betriebe, und die Dynamo soll parallel geschaltet werden. Der Maschinenumschalter wird auf L gestellt. Das Überlegen des Schalthebels von a auf L muſs so erfolgen, daſs der Hebel nicht zu gleicher Zeit A und L berührt, weil sonst die zwischen A u[nd L] liegenden Zellen kurz geschlossen werden. Hierzu dient der in Fig. dargestellte Umschalter mit Umschlaghebel.

Nachdem die Dynamo in Betrieb gesetzt ist, wird die Spannungsdiffe[renz] in der Lichtleitung abgelesen, und die Spannung der Dynamo gleich

enigen der Lichtleitung reguliert. Sodann wird der selbsttätige Ausschalter ind schliefslich durch A der Stromkreis geschlossen. Mittels des Nebenichlufsregulators wird reguliert, bis die Dynamo voll belastet ist.

Beschreibung einiger Hülfsapparate für den Akkumulatorenbetrieb:

1. Der Stromrichtungsanzeiger soll angeben, ob der Akkumulator geladen oder entladen wird. Das Gehäuse (Fig. 435) mit der in der vertikalen Ebene drehbaren Magnetnadel wird an die in Fig. 435 angegebene Stelle auf den stromführenden Leiter gesetzt, lafs die Magnetnadel in der Ruhelage und die Längsachsenrichtung des Leiters sich decken. Der Magnet hängt bei stromlosem Leiter vertikal.

Fig. 435.



2. Selbsttätige Minimumschalter. Während les Ladens taucht die drehbare Spule (Fig. 436) nit ihren Enden in zwei Quecksilbernäpfe, von lenen das eine (Fig. 435) mit dem negativen Pol der Maschine, das andere mit dem Maschinenumschalter verbunden ist. Dabei wird er in der Spule liegende Eisenkern magnetiiert und gegen einen festen Eisenanker gezogen. inkt der Ladestrom auf Null, so wird der isenkern unmagnetisch, läfst den Anker los, nd die Spule fällt zurück, wobei die Enden der Spule aus dem Quecksilber shoben werden, und damit die Verbindung zwischen Akkumulator und ynamo unterbrochen wird. Der selbsttätige Ausschalter soll verhindern, afs vom Akkumulator der Strom in die Dynamo gelangt, was beim Sinken

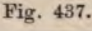
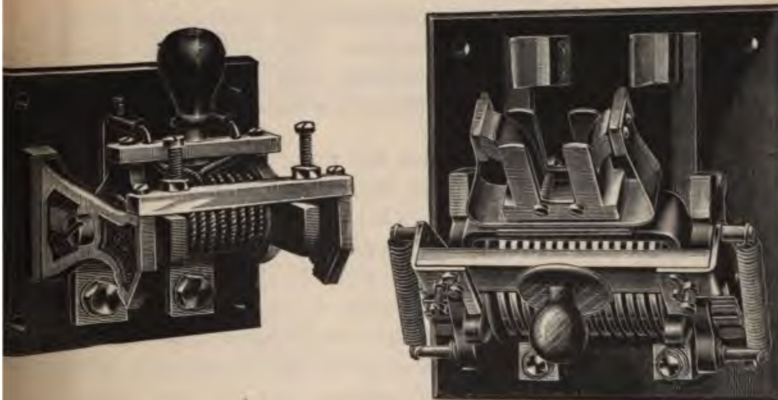


Fig. 436. Fig. 437.



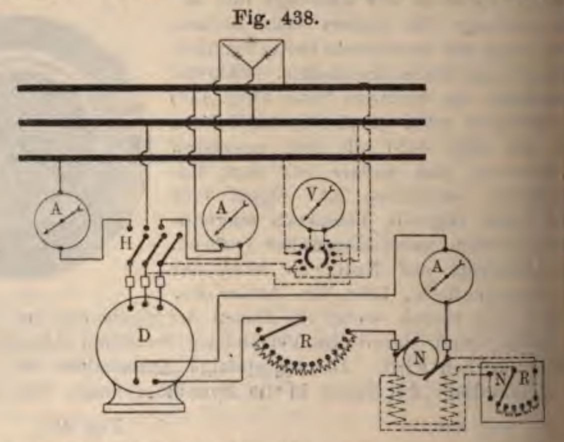
Tourenzahl des Ankers eintreten kann. Ehe der Strom seine Richtung chselt, ist er für einen Augenblick gleich Null, in dem die Unterbrechung olgt. Fig. 436 ist ein selbsttätiger Minimumausschalter der Firma Voigt Häffner, Bockenheim.

Für Bordzwecke eignet sich besser der in Fig. 437 dargestellte Minimumschalter derselben Firma, bei welchem die Quecksilbernäpfe durch feste ntakte ersetzt sind und die stromlose Spirale durch Federkraft auschaltet wird.

Über die Einrichtung der Zellenschalter vergl. § 84.

§ 133. **Drehstromdynamo** (Fig. 438). Die Drehstrom
ist durch den dreipoligen Hebelausschalter *H* mit den drei
schienen des Schaltbrettes verbunden. Eine Nebenschlufsdy
liefert den zur Erregung der Feldmagnete der Drehstrom
erforderlichen Strom. Die Regulierung der Spannung der
erfolgt dadurch, dafs entweder durch den Regulator *R* im
stromkreis Widerstand ein- oder ausgeschaltet wird, oder
dafs der Widerstand des Magnetstromkreises der Erregerm

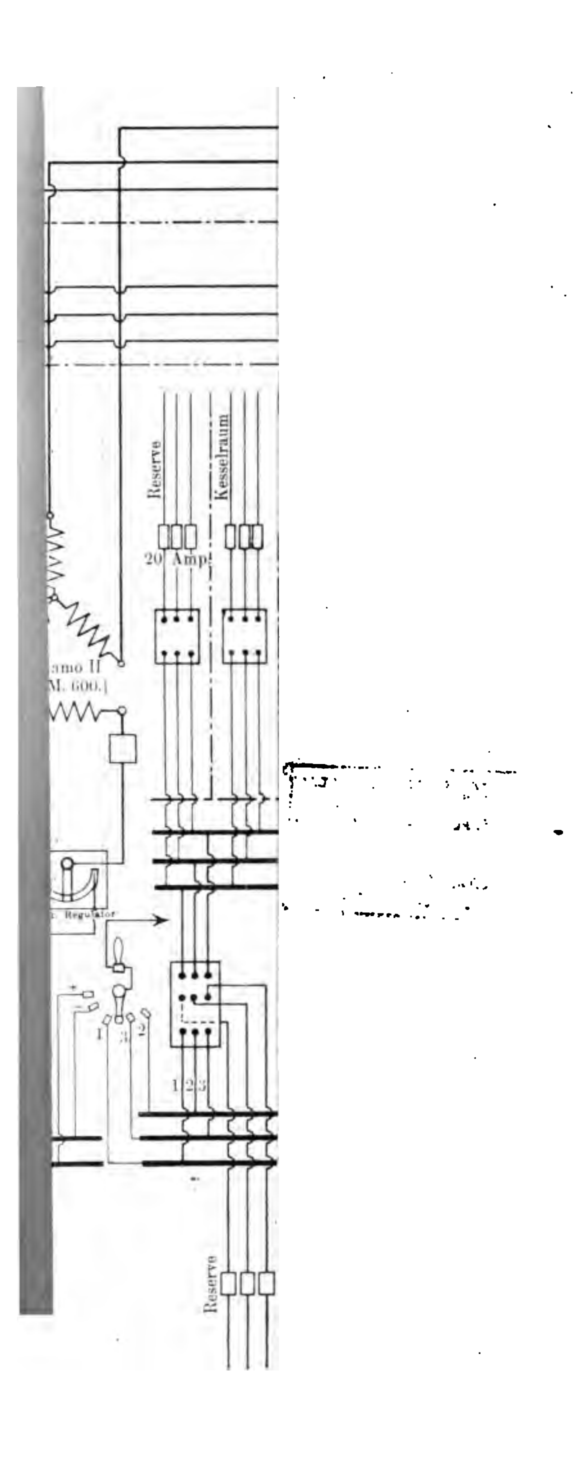
Fig. 438.



mittels *NR* reguliert wird. Die Regulierung der Spannung durch
rung der Umlaufszahl des Ankers bezw. des Feldmagneten der
stromdynamo ist meistens ausgeschlossen wegen der damit verbu
Änderung der Wechselzahl bei Motorenbetrieb.

§ 134. **Drehstromdynamos auf dem Passagier- und F
dampfer „Königin Luise" des Norddeutschen Lloyd** (Fi
Die Anlage ist von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berl
geführt und enthält zwei Drehstromdynamos mit der Hauptsp
180 Volt und 3 × 240 Ampère. Auf dem Schaltbrette befinden si
mal drei Sammelschienen, in dem an die oberen drei die Stromkr
die Beleuchtung, an die unteren drei die Motoren angeschloss
Durch die rechts in der Schaltungsskizze dargestellten Um
können die Stromkreise für Beleuchtung an die eine Masch
schlossen werden, während die andere den Strom für die
liefert; auch kann jede der beiden Maschinen allein die Stroml
für Beleuchtung und Kraftbetrieb übernehmen.

Zwei Nebenschlufsdynamos (65 Volt, 50 Ampère), die z
zwei Sammelschienen parallel geschaltet werden können u
den Betrieb eines Scheinwerfers, sowie zur Notbeleuchtun
werden können, liefern den Strom zur Erregung der Feld
Drehstromdynamos. Der Null- (neutrale) Leiter ist als v



Reserve
Kesselraum
20 Amp.
amo II
M. 600.
Regulator
1 3 2
1 2 3
Reserve

den Stromkreisen der Beleuchtung vorhanden, um Ungleichheiten den Belastungen der drei Phasen auszugleichen. Die Phasenspannung t dabei 104 Volt.

§ 135. Ausgeführte elektrische Anlagen. 1. Auf dem Schnell-mpfer „Deutschland“ der Hamburg—Amerika-Linie.

Auf dem auf der Werft der Stettiner Maschinenbau-Aktiengesellschaft lkan erbauten Schnelldampfer „Deutschland“ sind für die Beleuchtung 50 Glühlampen und für den Betrieb verschiedener Hülfsmaschinen 23 ektromotoren erforderlich. Zur Lieferung der elektrischen Energie sind nf Dampfdynamos aufgestellt, von denen jede aus einer stehenden Compound-mpfmaschine von C. Dävel in Kiel in direkter Kuppelung mit einer Neben-hlufsdynamo der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, besteht. Die ndrehungszahl der Maschinen beträgt 250 in der Minute, und die Span-ng ist 110 Volt. Drei dieser Dampfmaschinen haben Cylinder von 300 und 0 mm Durchmesser bei 255 mm Hub, während jede der zugehörigen ynamomaschinen bis zu 700 Amp. liefern kann. Die beiden übrigen etwas einerer Maschinen haben die Cylinderdurchmesser 270 und 450 mm, den ub 200 mm und die zugehörigen Dynamos liefern jede bis zu 400 Amp.

Zwei der gröfseren Dampfdynamos und die beiden kleineren sind unten n Schiff in dem hinter dem Hauptmaschinenraum, zwischen den beiden chraubenwellen liegenden Dynamomaschinenraum aufgestellt. Die fünfte ynamo befindet sich in einem besonderen Raume, der ebenfalls vom auptmaschinenraume zugänglich ist, aber im Hauptdeck oberhalb der Vasserlinie liegt. Bei dieser Anordnung kann die obere Maschine noch inen grofsen Teil des zur Beleuchtung erforderlichen Stromes liefern, enn die unteren Maschinen an der Stromlieferung verhindert sein sollten. on den vier unteren Dynamos führen gummiisolierte und eisendrahtarmierte leikabel nach der Hauptschalttafel. Sämtliche vier Dynamos liegen mit em einen Pole (negativen) an einer gemeinsamen Sammelschiene, welche in ig. 440 gestrichelt gezeichnet ist. Dagegen sind die positiven Polklemmen er Dynamos in Verbindung bezw. mit den Schienen 1, 2, 3 und 4. Mittels er Umschalter u können die Stromkreise für die allgemeine Beleuchtung n jede der vier Maschinen angeschlossen werden oder in beliebiger Weise uf die vier Maschinen verteilt werden.

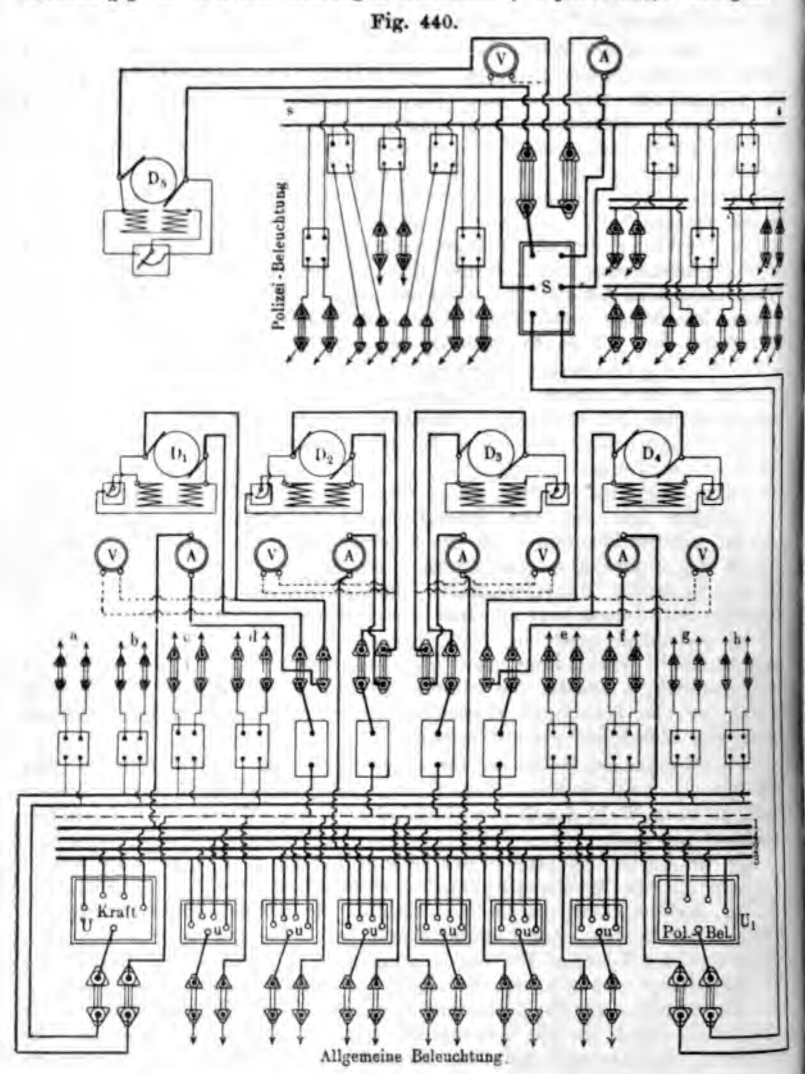
Die Stromkreise a bis h für den Betrieb der Elektromotoren sind leichfalls an zwei Sammelschienen angeschlossen; diese Sammelschienen önnen je nach Wahl durch den Umschalter U an jede der vier Maschinen eschlossen werden.

Zu den beiden Hauptteilen der Leitung für die allgemeine Beleuch-ung und für den Motorenbetrieb kommt als dritter Teil die Polizei-itung, welche sämtliche Lampen enthält, die für den Dienst, sowie zur cherheit des Schiffes, der Passagiere und der Besatzung erforderlich sind, sbesondere die Lampen für die Maschinen- und Kesselräume, ferner die m Hafendienst und die zum Reinigen der Salons erforderlichen Lampen, wie die Lampen für die Kammern der Besatzung. Die Stromkreise der olizeileitung sind an die Sammelschienen $s - s$ des Schaltbrettes an-schlossen, welches sich mit der fünften Dynamomaschine in demselben aschinenraume befindet. Durch den Umschalter S kann entweder die ynamo 5 Strom für die Polizeileitung liefern, oder der Strom kann auch ittels des Umschalters U_1 von jeder der unteren vier Dynamos entnommen erden. Zu diesem Zwecke ist eine Leitung zwischen dem Umschalter S nd dem Umschalter U_1 vorhanden. Bei dieser Anordnung des Schalt-

brettes kann also jede Dynamo ohne weiteres für die Beleuchtung durch eine andere ersetzt werden.

Als Meſsinstrumente (Ampèremeter A und Voltmeter V) sind Präzisionsmeſsinstrumente benutzt, deren Wirkungsweise in § 25 beschrieben ist. Diese Instrumente (Fig. 74 u. ff.) haben sehr gute Dämpfung und zeigen, unabhängig von den Schwankungen des Schiffes, in jeder Lage richtig an.

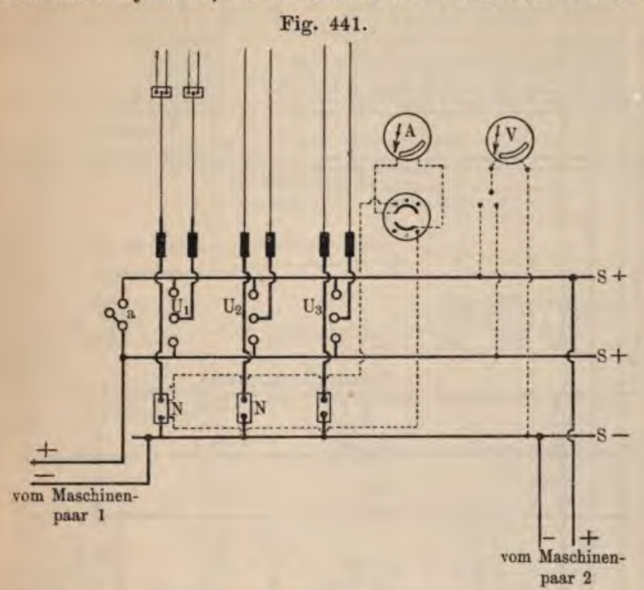
Fig. 440.



2. Auf S. M. S. „Hagen". Um die Energielieferung für die Motoren mit stark schwankendem Stromverbrauch von den Leitungen für die elektrischen Lampen zu trennen, ist auf S. M. S. „Hagen" die Stromverteilung in folgender Weise durchgeführt. Zwei Paare von Nebenschluſsdynamos

ind aufgestellt, deren negative Polklemmen sämtlich an die negative Sammelschiene (Fig. 441) des Schaltbrettes angeschlossen sind. Aufserdem sind zwei positive Sammelschienen, die übrigens zur allgemeinen Parallelschaltung auch durch einen Schalter *a* (Fig. 441) miteinander verbunden werden können, vorhanden. An die eine sind die positiven Klemmen des einen Paares parallel geschalteter Dynamos, an die andere die des zweiten Paares gelegt.

Fig. 441.



ie Schaltung der Maschinen und deren Hülfsapparate ist im übrigen nach ig. 430 ausgeführt. Fig. 441 gibt ein Schema der Stromverteilung [1]), wobei er Übersicht wegen nur drei Stromkreise gezeichnet sind.

Im ganzen zweigen vom Schaltbrett ab: vier Leitungen für die vier cheinwerfer, eine Leitung für zwei Nebenschlufsmotoren, die zum Betriebe er Munitionsaufzüge dienen, und zwölf weitere Stromkreise, welche für Beuchtung, Anschlufs von Ventilatoren u. s. w. eingerichtet sind. Durch en Umschalter *U* können die Stromkreise an die obere oder untere +-Schiene ngeschlossen werden. Sämtliche Rückleitungen aus dem Schiffe liegen an er —-Sammelschiene. In der Rückleitung sind die Nebenschlüsse für die mpèremeter eingeschaltet, das mittels eines Umschalters nacheinander mit en einzelnen Nebenschlüssen in Verbindung gebracht werden kann.

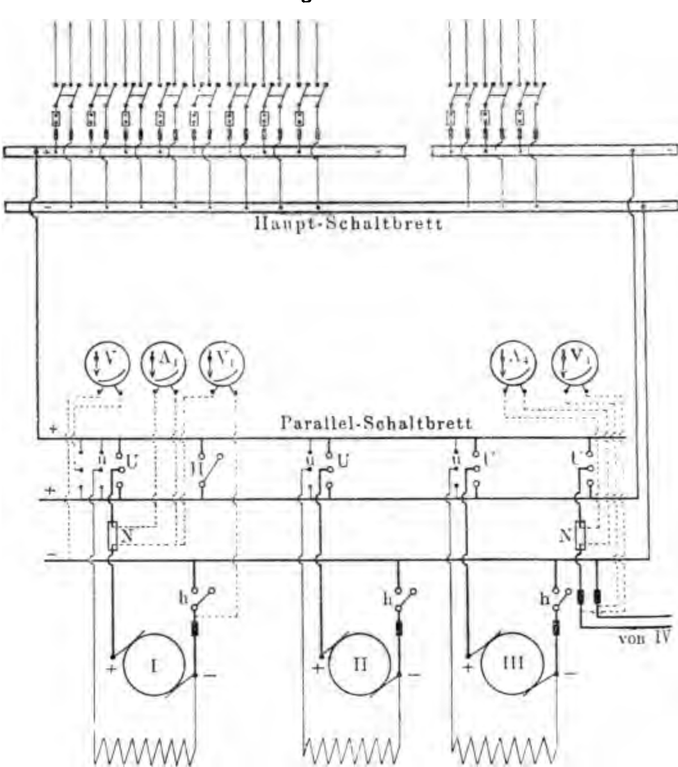
3. Auf S. M. S. „Prinz Heinrich“. Im hinteren Maschinenraume sind drei ampfdynamos aufgestellt, von denen zwei für 48 K. W., die dritte für 75 K.W. nd 680 Amp. gebaut sind. Aufserdem ist noch eine Reservestation voranden mit einer Dynamo von 75 K. W. Nutzleistung, die ebenfalls bis 0 Amp. liefern kann.

Das Hauptschaltbrett (Fig. 442) enthält eine —-Sammelschiene, an elche sämtliche Stromkreise angeschlossen sind. Die +-Sammelschiene ist zwei Teile zerlegt; an dem einen Teil wird der Strom an die mit schwan-

[1]) Ein vollständiges Schema der Stromverteilung ist von Grauert in der ektrotechn. Zeitschr., Bd. 21, S. 973, 1900 gegeben.

kender Belastung arbeitenden Motoren für Aufzüge, Schwenkwerke und Kohlenwinden und an die Scheinwerfer, an dem anderen für die Ventilatoren und Lampen abgegeben.

Fig. 442.

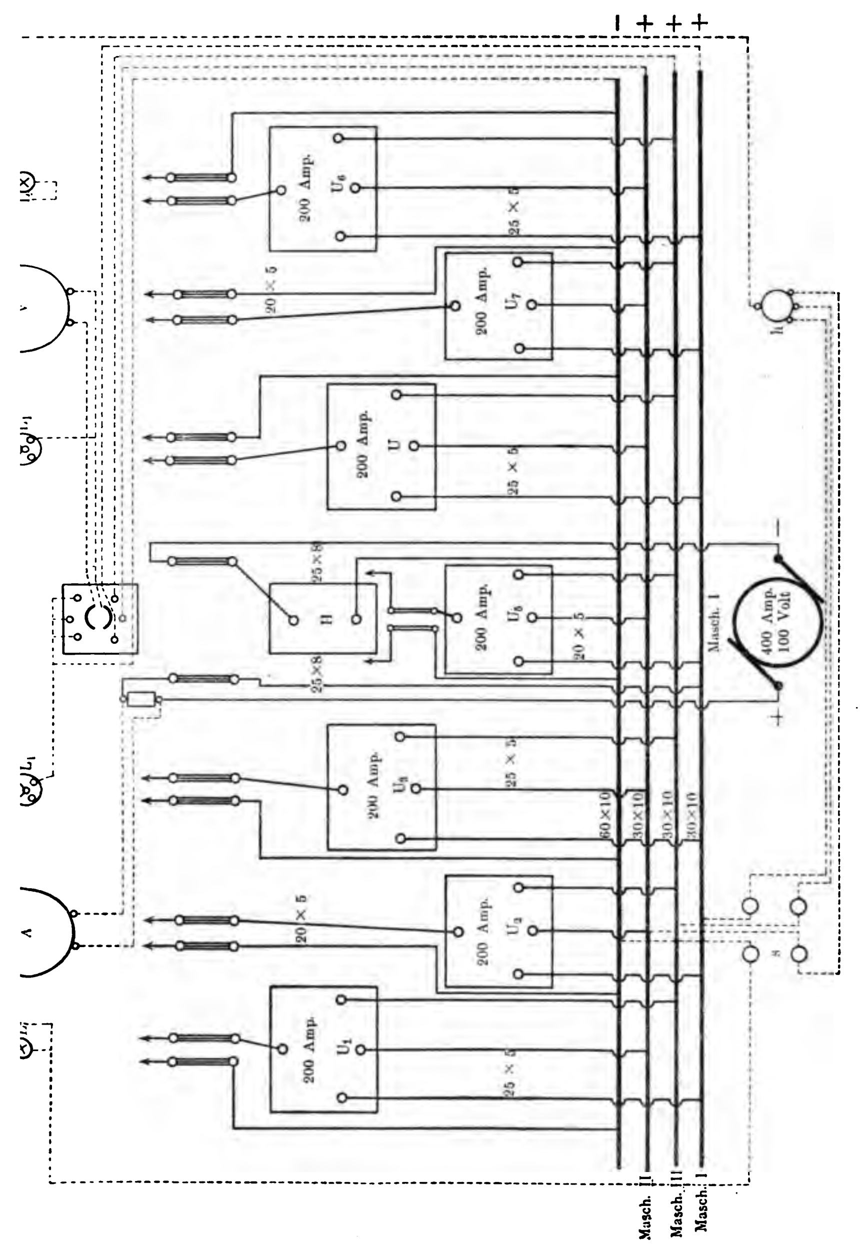


Das **Parallelschaltbrett** ist zum Umschalten der Dynamos in derselben Weise eingerichtet, wie auf S. M. S. „Hagen“. In Fig. 442 ist nur für die Dynamo I der Anschlufs des Strommessers A_1 und des Spannungsmessers V_1 gezeichnet. Zu ersterem gehört der Nebenschlufs N. Die Nebenschlufsregulatoren sind bei allen Maschinen in der Skizze fortgelassen. Die Umschalter U können die positiven Polklemmen der Dynamos entweder mit der oberen oder mit der unteren +-Schiene des Parallelschaltbrettes verbinden. Beim Anlassen werden die Dynamos mittels des Umschalters u vom Parallelschaltbrett aus erregt. Das Voltmeter V dient zur Messung der Spannung zwischen den Schienen des Schaltbrettes.

Die in der Reservestation aufgestellte Dynamo kann ebenfalls an das Parallelschaltbrett angeschlossen werden. Durch den Schalter H kann der allgemeine Parallelbetrieb hergestellt werden.

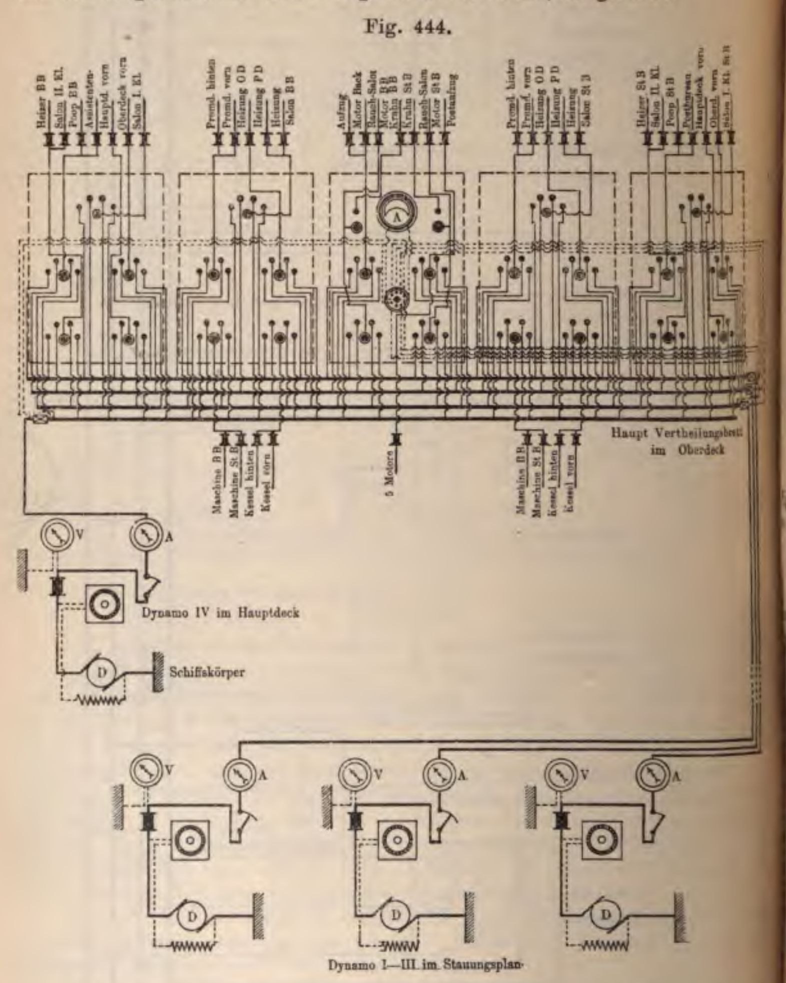
Die vom Hauptschaltbrett abzweigenden Leitungen enthalten doppelpolige Sicherungen und in der +-Leitung einen Nebenschlufs für die Messung des Stromverbrauches. Die Nebenschlüsse in zusammengehörigen Leitungen sind zu einem Umschalter geführt, der ferner mit einem Präzisionsstrommesser (vergl. § 25) verbunden ist.

4. **Reichspostdampfer „Prinzefs Irene" des Norddeutschen ›yd.** Das Schaltungsschema ist in Fig. 443 dargestellt. Eine der vier ıamos, von denen jede bei 100 Volt Klemmenspannung bis zu 400 Amp. ›m liefern kann, ist im Zwischendeck, die beiden übrigen im Stauungs-



plan aufgestellt. Die sieben Stromkreise können durch einpolige Umschalter auf die drei Dynamos verteilt werden. $U_1 - U_7$ sind die einpoligen Umschalter für drei Stromkreise. Das zugehörige Schaltbrett ist in Fig. 448 dargestellt. H ist ein einpoliger Schalthebel bis 400 Amp. L_1 L_2 sind zwei Schiffsschlufsprüfer, die je eine Glühlampe zur Prüfung der Isolation des Netzes enthalten (siehe § 143). L sind Glühlampen zur Beleuchtung des Schaltbrettes, deren Leitung die Sicherung s und den Ausschalter (bezw. Umschalter) h enthält. In der Anlage erfolgt die Rückleitung nicht durch den Schiffskörper, sondern sie ist als isolierter Leiter ausgeführt. Diese Anlage ist von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, ausgeführt.

Fig. 444.



5. Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd, ausgeführt von der Union-Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, Technisches Büreau A. Nissen u. Co., Hamburg (Fig. 444). Nach dem Vorhergehenden ergibt sich leicht die Stromverteilung. Auch hier können d

chalter die verschiedenen Stromkreise auf die vier Dynamos verteilt len. In der Anlage ist eine Rückleitung durch den Schiffskörper vorhen. In den Zuleitungen von den Dynamos nach dem Schaltbrette Nebenschlüsse eingeschaltet, an welche durch einen zweipoligen Umlter für vier Stromkreise das Ampèremeter gelegt werden kann. In

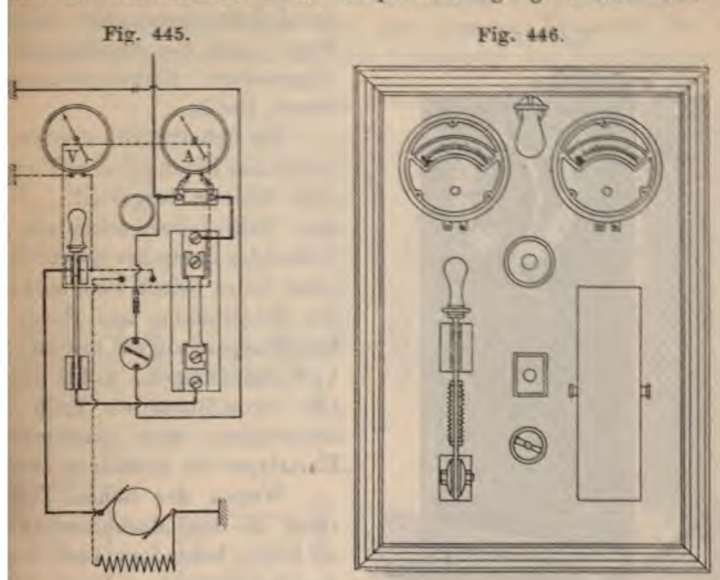


Fig. 445. Fig. 446.

445 ist das Schaltungsschema der Schalttafel für die Dynamo IV und Fig. 446 die Ansicht derselben dargestellt.

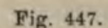
§ 136. Das Schaltbrett. Die Schalttafel im Maschinenraume l eine Zusammenstellung derjenigen Apparate enthalten, die erderlich sind, um den Betrieb und das Verhalten der Dynamos zu rwachen, und um den Stromverbrauch zu regulieren. Wir bedeln hier nur solche Schalttafeln, welche für den reinen Maschinenrieb ohne Akkumulatoren Verwendung finden.

Auf der Schalttafel sind vorhanden: 1. Für jede der Maschinen Nebenschlufsregulator, der in der Form Fig. 447 von Siemens l Halske, Berlin, für gröfsere Dynamos geliefert wird; 2. für jede namo ein zweipoliger Hebelausschalter nebst doppelpoliger Sicherung; für jede Dynamo ein Strommesser und ein Voltmeter. Statt mehr Voltmeter kann auch ein Voltmeter mit Voltmeterumschalter g. 399) angebracht sein; 4. die Schalthebel bezw. Umschalter für die den Sammelschienen abzweigenden Hauptleitungen und die Sichegen für letztere; 5. ein Erdschlufs- (Schiffsschlufs-) prüfer.

Sind mehrere Dynamos vorhanden, die in Parallelschaltung betrieben den, so sind zwei Sammelschienen auf dem Schaltbrette angebracht, denen die Hauptleitungen abzweigen.

Sind dagegen Umschalter (siehe Fig. 400) vorhanden, wodurch Dynamo ihren eigenen Stromkreis erhält, so ergibt sich die richtung leicht aus den in Fig. 440 u. a. gegebenen Skizzen der Dyn anlage. Fig. 448 zeigt die Ausführung des Schaltbrettes dem Reichspostdampfer „Prin Irene" nach der Ausführung Allgemeinen Elektrizitätsge schaft, Berlin.

Fig. 447.




Die Schalttafeln werden besten aus leitungsfreiem Mar oder Schiefer hergestellt. N den Sicherheitsvorschriften Verbandes deutscher Elektrote niker ist es jedoch auch zuläs die Schalttafeln aus Holz Betriebsspannungen bis zu 2 Volt anzufertigen, wobei jed alle stromführenden Teile isolierenden und feuersiche Unterlagen zu montieren sind.

Wegen der hohen Tem ratur in den Maschinenräum an Bord, besonders auch weg der beträchtlichen Feuchtigk ist das Holz für Schaltbretter Bord sehr wenig geeignet.

Wegen der Sprödigkeit des Marmors, welche bei Erschütterungen Schiffskörpers leicht die Gefahr eines Bruches der aus ihm hergestell größeren Platten nahe legt, zieht man für Schaltbretter an Bord m Platten aus aderfreiem Schiefer von etwa 25 mm Stärke vor, die mit Para getränkt werden, damit sie nicht hygroskopisch sind. Die Schieferplat werden von kräftigen Winkeleisen umrahmt und durch Zwischenlagen Filz in der Umrahmung gehalten.

Für Kriegsschiffe ist wegen der Brüche der Schieferplatten auch Ei als Material für Schaltbretter in Vorschlag gebracht. Bei größeren Sch brettern aus Eisenplatten macht besonders die Befestigung und Durchführ der Leitungen Schwierigkeiten, wenn die Isolation ihren hohen Wert beha soll. Kleine Schaltbretter für einzelne Maschinen sind bereits aus die Material hergestellt [1]).

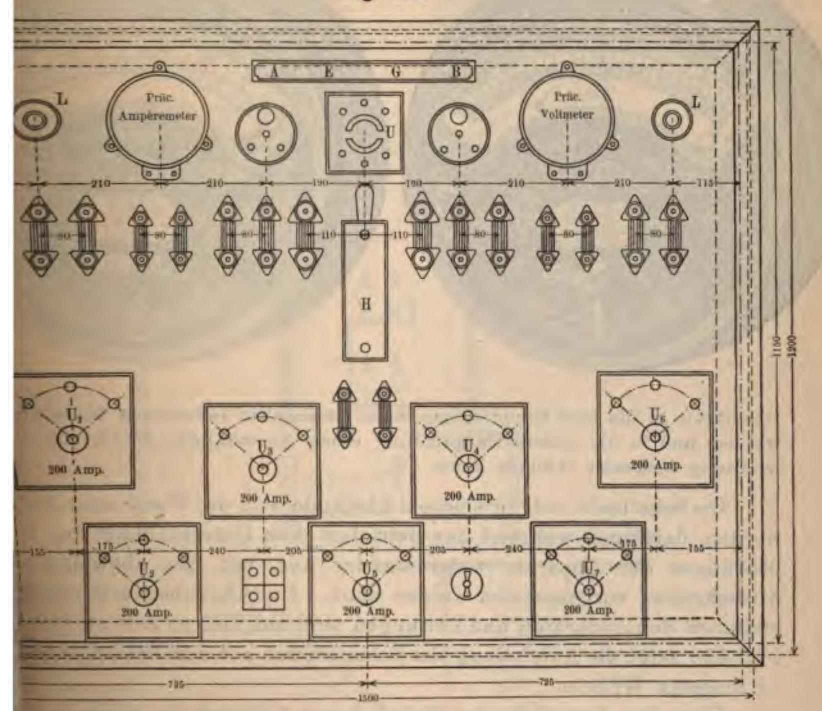
Alle Durchführungen der Leitungen durch die Schaltwand durch Tüllen aus Porzellan, Hartgummi oder ähnlichem Material hörig zu isolieren.

Die in den Schaltungsskizzen (Fig. 440 u. ff.) angegebenen Appar welche sowohl zur Überwachung, als auch zur Regulierung der

[1]) Siehe Grauert, Die elektrischen Anlagen neuerer Kriegsschiffe. Elektrot Zeitschr. 1900, S. 995.

en dienen, sind übersichtlich auf dem Schaltbrette anzuordnen. Verbindungen der Apparate untereinander und mit den Sammelnen werden auf der Rückseite des Schaltbrettes durch Kabel oder lie Voltmeter durch Leitungen mit dicker Guttaperchahülle herellt. Neuerdings bringt man zur besseren Übersicht die Verungen für Starkströme auf die Vorderseite des Schaltbrettes als

Fig. 448.



nke Kupferschienen. Die Übersicht wird noch dadurch erhöht, dafs n die +-Leitungen durch einen roten, die —-Leitungen durch nen Lackanstrich kennzeichnet. Der Lackanstrich schützt zugleich gen die Feuchtigkeit. Die Leitungen für die Präzisionsstromsser und -spannungsmesser werden dabei durch Drähte mit bester d dicker Gummiisolation ausgeführt. Die einzelnen von den nmelschienen abzweigenden Stromkreise (Hauptleitungen) sind mit ildern versehen, welche die angeschlossenen Verteilungsstationen eben.

Als Mefsinstrumente sind die auf S. 51 beschriebenen aperioen Strom- und Spannungsmesser zu verwenden oder die Westonttafelinstrumente (Fig. 449).

Jeder Stromkreis erhält eine doppelpolige Sicherung. Werden

die Dynamos parallel geschaltet, so erhält auch jeder Stromkreis
doppelpoligen Ausschalter.

Werden die Dynamos unter Anwendung von Umschaltern einzel
trieben, so erhält, nach den Vorschriften des Norddeutschen Lloyd,

Fig. 449.



Stromkreis in die eine Hauptleitung einen Umschalter (einpoligen Masch
wähler) und in die andere Hauptleitung einen Ausschalter, damit die
schaltung funkenlos erfolgen kann.

Die Schalttafel soll in solchem Abstande von der Wand angeb
werden, daſs auch während des Betriebes eine Untersuchung der
bindungen der Apparate untereinander und mit den abzweige
Stromkreisen vorgenommen werden kann. Die Schraubenverbindu
zwischen den Apparaten und Leitungen sind von Zeit zu Zeit zu pr
Fig. 450 zeigt die Aufstellung des Schaltbrettes auf dem Schnelldam
„Kronprinz Wilhelm“.

Über den Anschluſs der Kabel durch Kabelschuhe siehe S.

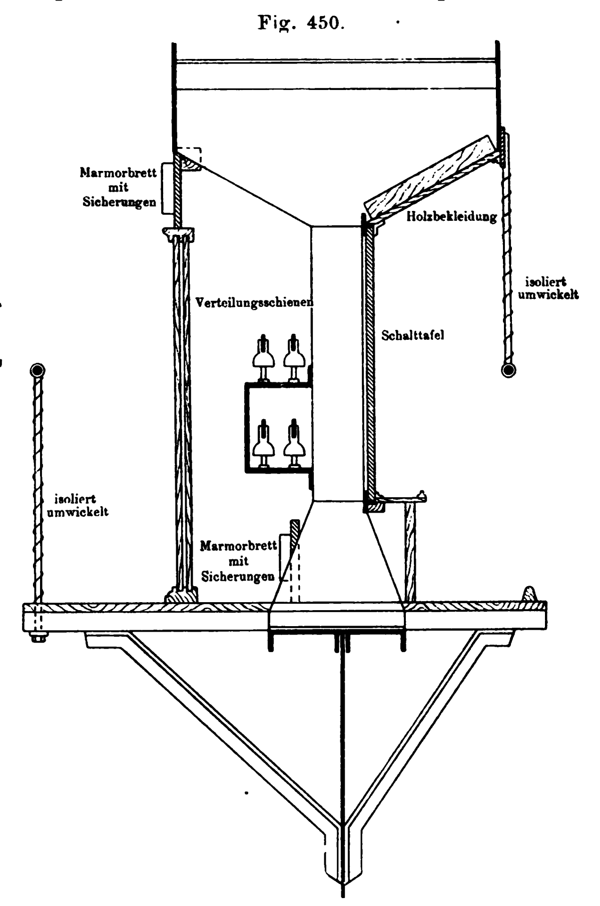
§ 137. Anlage des Leitungsnetzes im allgemeinen.

Verteilung der elektrischen Energie vom Hauptschaltbrette aus erf
zunächst durch die Hauptleitungen, von denen jede am Hauptsch
brette (siehe Fig. 448) ausgeschaltet bezw. umgeschaltet werden k
Die Hauptleitungen führen als eisenbandarmierte Bleikabel nach den
schiedenen im Schiffe verteilten Verteilungsstationen; entw
führt jede Hauptleitung nur zu einer Verteilungsstation oder
mehreren. (Fig. 456.)

In Fig. 451 ist die Lage der Hauptleitungen für die elektri
Beleuchtungsanlage auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhe
dargestellt. Die Zahlen geben die Querschnitte der Leitungen
Quadratmillimeter an.

Zur Sicherheit des Betriebes können einzelne Hauptleitungen als ngleitungen verlegt werden. Wird der Ringleiter für die Kessel- und ıschinenräume (Fig. 452) an irgend einer Stelle schadhaft, so behalten ch alle Verbrauchsstellen ihre Verbindung mit der Stromquelle bezw. t dem Hauptschaltbrett. Auf dem Schnelldampfer „Deutschland" der

Fig. 450.



ımburg-Amerika-Linie sind solche Ringleitungen, wie auch auf allen deren Dampfern, für die Beleuchtung der Kessel- und Maschinenıme gewählt (Fig. 453).

Von den Verteilungsstationen gehen dann, des beschränkten umes wegen, häufig nur acht bis zehn Zweigleitungen nach verıiedenen Räumen, Gängen u. s. w.; diese Verteilungsleitungen können ızeln an der Verteilungsstation ein- und ausgeschaltet werden.

Nach den Bestimmungen des Norddeutschen Lloyd werden an jede eigleitung nicht mehr als acht Glühlampen angeschlossen. Besondere eigleitungen erhalten von den Verteilungsstationen aus:

1. Die Lampen in den Gängen und Toiletten,
2. die Aufsenlampen auf dem Promenadendeck,
3. die Sonnenbrenner,
4. die Positionslaternen,

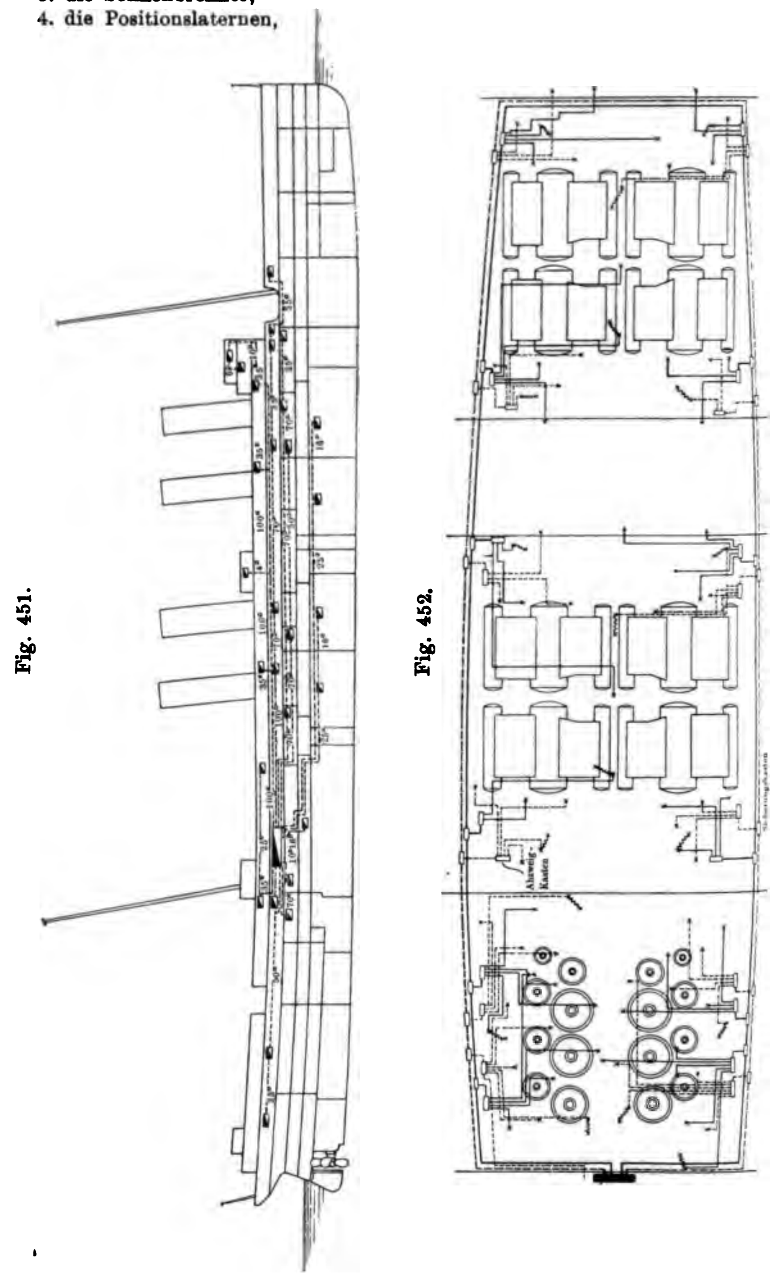


Fig. 451.

Fig. 452.

die Lampen für die Wohnräume der Besatzung,
die Lampen der an Deck befindlichen Kompasse und Maschinentelegraphen,
die Lampen solcher Räume, welche vom Tageslicht ungenügend oder gar nicht erhellt werden.

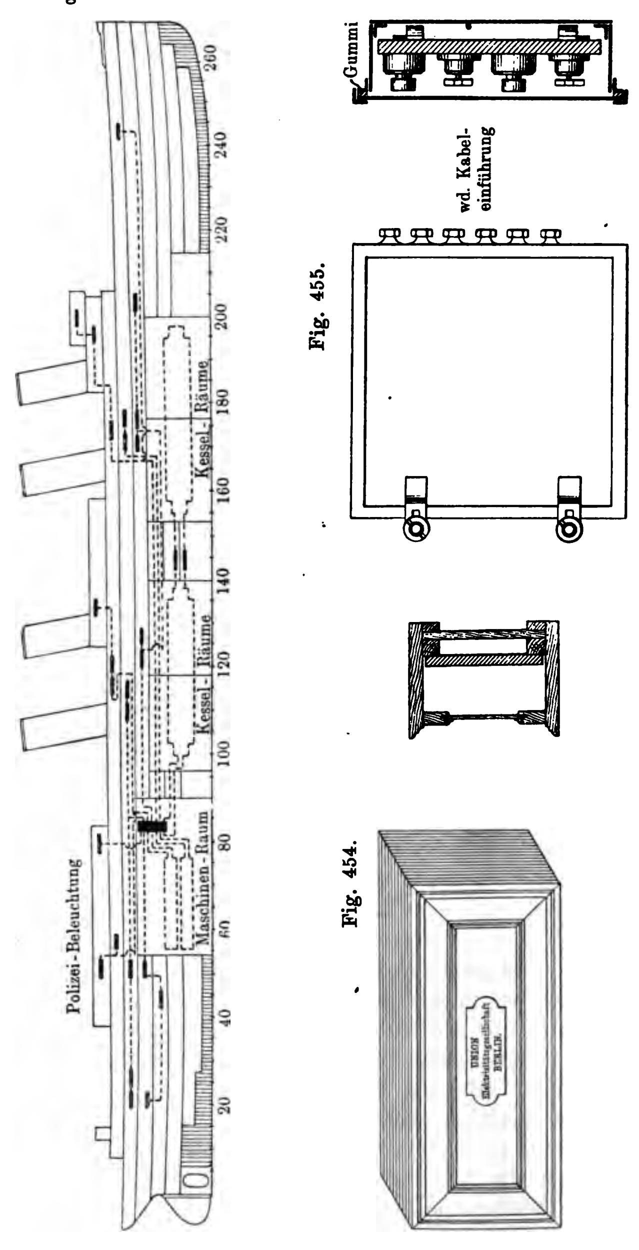


Fig. 455.

Fig. 454.

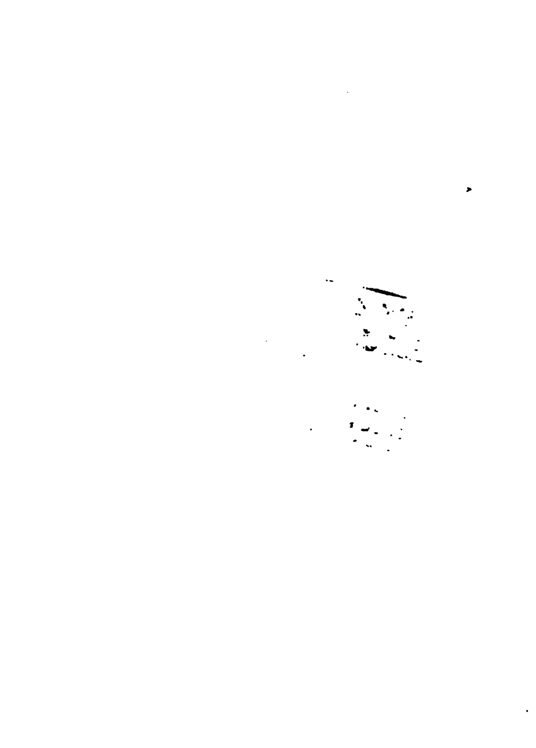
In Fig. 455 ist ein wasserdichter Verteilungskasten dargestellt, der auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd verwendet ist. In Fig. 454 ist ein Verteilungskasten für Innenräume (Gänge u. s. w.) in Ansicht und Schnitt dargestellt. Die Schalter und Sicherungen sind hierbei auf isolierten Marmorplatten montiert, während in den wasserdichten Stationskästen anstatt des Marmors Schiefer verwendet ist.

Es empfiehlt sich ferner, für jede wasserdichte Abteilung eines Schiffes eine besondere Hauptleitung anzulegen, damit im Falle einer Überflutung dieser Räume Störungen der gesamten Anlage vermieden werden.

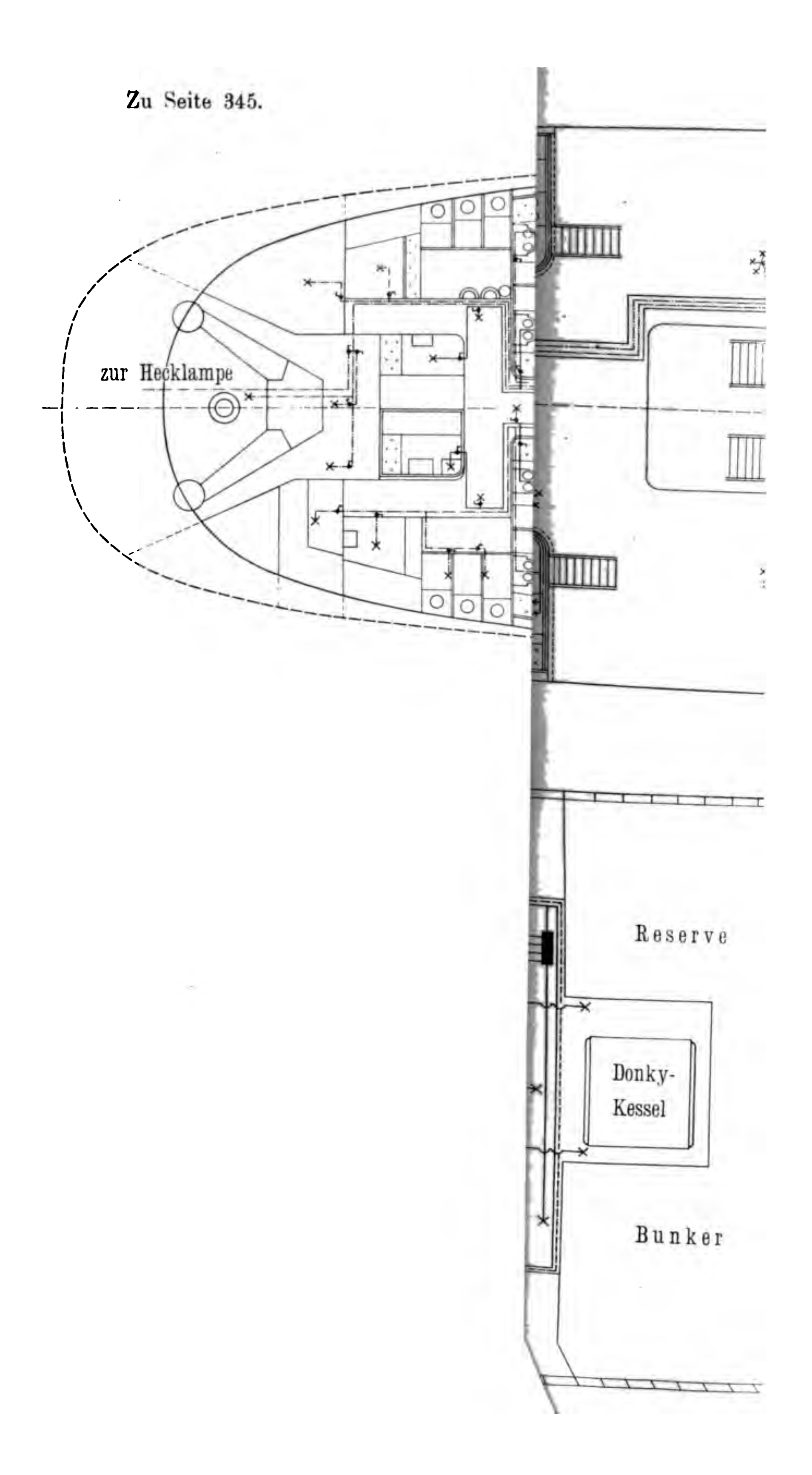
In den Maschinen- und Kesselräumen wird meistens jede einzelne Lampe von der Verteilungsstation abgezweigt (siehe Fig. 452).

Neuerdings werden auch auf den Dampfern der Handelsmarine alle Gleichstromnetze doppelpolig verlegt, während seltener noch einpolig verlegte Leitungsnetze ausgeführt werden, bei denen der Schiffskörper als Rückleitung des Stromes zum Schaltbrett dient. Das einpolig verlegte Leitungsnetz ist billiger, jedoch, die gleiche Güte des Isoliermaterials vorausgesetzt, leichter Störungen infolge von Isolationsfehlern ausgesetzt als das zweipolige Netz. Auch ist der Einfluſs der elektrischen Ströme eines doppelpoligen Netzes auf den Kompaſs sicher geringer als der Einfluſs beim einpoligen Netze. Bei der Rückleitung durch den Schiffskörper ist das Berühren der Leitungen unangenehm für das Personal, auch werden vielfach Anfressungen des Schiffskörpers, der Rohrleitungen u. s. w. auf die elektrolytischen Wirkungen des Stromes zurückgeführt. Das Kupfergewicht der Leitung ist bei einpolig verlegten Leitungen freilich erheblich geringer als bei den zweipolig verlegten. Für die Berechnung des Spannungsverlustes in einpoligen Leitungen ist dabei nur (vergl. das Beispiel auf S. 348) die Hinleitung zu berücksichtigen. Vielfach ist auf den Dampfern der Handelsmarine für die Beleuchtung ein einpolig verlegtes Leitungsnetz vorhanden, während nach den Motoren für die Kräne, Aufzüge u. s. w. zweipolige Leitungen verlegt sind. Bei wenig umfangreichen und einfachen Anlagen wendet man, besonders auch mit Rücksicht auf eine Verminderung des Leitungsmateriales in einzelnen Fällen, wie z. B. auf Torpedobooten, einpolig verlegte Leitungen an. Immerhin ist die Verlegung des einpoligen Leitungsnetzes einfacher als die des zweipoligen. Wird die Verlegung sorgfältig bei Anwendung der besten Isoliermaterialien ausgeführt, so kann auch beim einpoligen Netze das Auftreten von Störungen durch Fehler im Netze sehr beschränkt bezw. vermieden werden, besonders wenn die bei der Rückleitung durch den Schiffskörper fortfallenden Kosten einer isolierten Rückleitung teilweise für die bessere Verlegung des einpoligen Netzes, sowie des Materials derselben in Anschlag gebracht werden.

Die Gefahr einer Störung im einpolig verlegten Netze ist immerhin nicht gröſser als beim Dreileiternetze mit blank in Erde verlegtem Mittelleiter (Elektrische Centrale in Kiel).



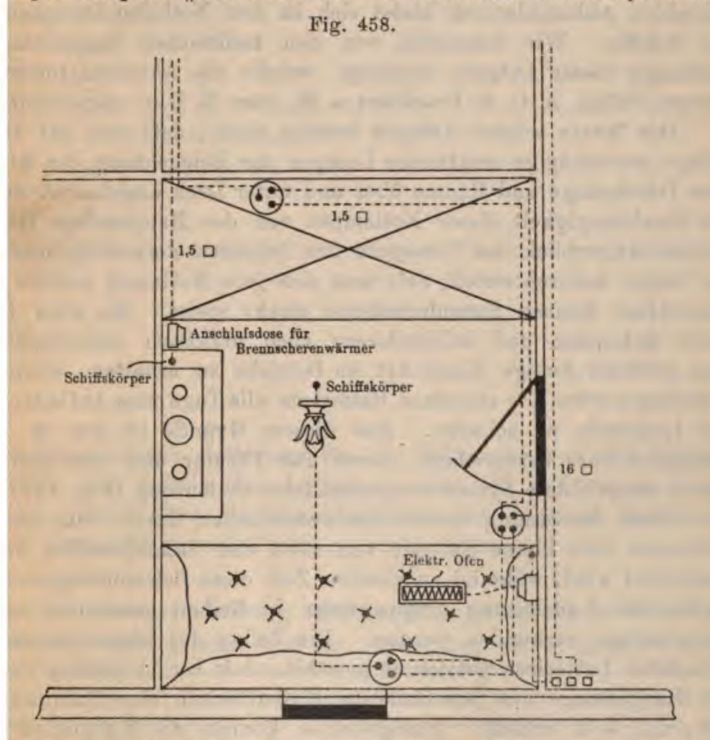
Zu Seite 345.



In der Nähe des Kompasses sind alle Leitungen stets doppelpolig erlegen und überhaupt in solcher Weise, dafs eine Störung des-n möglichst vermieden wird. Für die Stromleitung nach den inwerfern und Motoren dienen daher meistens konzentrische Kabel.

§ 138. Ausgeführte elektrische Leitungen an Bord. In 452 sind zwei Ringleitungen für die Kessel- und Maschinen-ie dargestellt, die beide an dasselbe Schaltbrett angeschlossen sind. der beiden Ringleitungen enthält Abzweigkästen, und zwar ist 'erteilung derselben bezw. der Lampen möglichst so vorgenommen, auch bei Zerstörung einer der Ringleitungen immer noch eine eichende Beleuchtung vorhanden ist. Eine ähnliche Verteilung elektrischen Stromes in den Maschinen- und Kesselräumen ist in 457 dargestellt, wie sie auf den Dampfern „Adria" und anderen pfern der Hamburg-Amerika-Linie zur Ausführung gebracht ist. In Fig. 456 ist die Installation im Oberdeck-Hinterschiff des hspostdampfers „Prinz Heinrich" des Norddeutschen Lloyd wieder-

Fig. 458.



ben. Vom Maschinenraum führen nach den beiden Verteilungs-onen im Hinterschiff je zwei Leitungen, von denen die eine für Tagesbetrieb (ausgezogene Linie), die andere für die Abendstunden

und nachts (strich-punktiert) eingeschaltet wird. Während des Tages erhalten sämtliche etwa eingeschalteten Lampen Strom von derselben Dynamo, so dafs nur eine Dynamo in Betrieb gestellt wird. Zur Zeit des gröfsten Bedarfes an elektrischer Energie sind die verschiedenen Stromkreise auf die vorhandenen Dynamos verteilt. Im Mittelschiff sind die Backbordleitungen als ausgezogene Linien, die Steuerbordleitungen punktiert gezeichnet. Zur Beleuchtung des Decks sind ferner vier Sonnenbrenner mit je fünf Glühlampen installiert.

In Fig. 458 ist die elektrische Ausrüstung einer Kabine erster Klasse auf dem Schnelldampfer „Kronprinz Wilhelm" des Norddeutschen Lloyd dargestellt. Die Leitungen für die Glühlampe, welche von drei Stellen aus unter Anwendung eines Kreuzschalters eingeschaltet werden kann, sowie die für den elektrischen Ofen und für die Brennscherenwärmer sind voneinander getrennt.

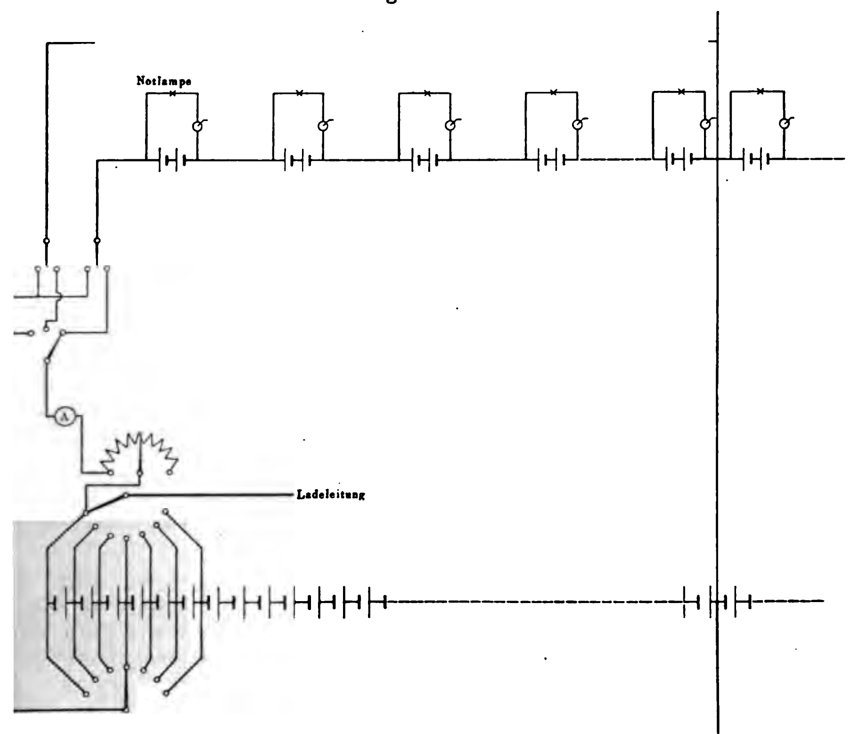
§ 139. Notbeleuchtung mit Akkumulatoren. Eine besonders wichtige und für den Betrieb bequeme Anwendung der transportablen Akkumulatoren bietet sich in den Notbeleuchtungsanlagen der Schiffe. Wir behandeln von den zahlreichen vorgeschlagenen Lösungen dieser Aufgabe diejenige, welche die Akkumulatorenwerke System Pollak, A.-G. in Frankfurt a. M., zum D. R.-P. angemeldet hat.

Das Wesen solcher Anlagen besteht darin, dafs von der Hauptanlage unabhängige elektrische Lampen zur Beleuchtung der wichtigsten Durchgänge und Räume über und unter Deck angebracht werden. Die Unabhängigkeit dieser Notlampen von der Hauptanlage ist aber erst im Augenblick des Versagens der letzteren notwendig und wird am besten dadurch erzielt, dafs man eine jede Notlampe mittels einer besonderen kleinen Sammlerbatterie direkt speist. Es wäre jedoch recht unbequem und infolgedessen auch praktisch undurchführbar, eine gröfsere Anlage dieser Art im Betriebe zu erhalten, wenn man gezwungen wäre, die einzelnen Batterieen alle Tage zum Aufladen nach der Ladestelle zu schaffen. Aus diesem Grunde ist das im Nachstehenden kurz beschriebene, zuerst für Theater und öffentliche Gebäude ausgebildete System von besonderer Bedeutung (Fig. 459).

Diese Anordnung besteht im wesentlichen darin, dafs zu jeder Notlampe eine kleine Batterie von etwa vier Sammlerzellen parallel geschaltet wird, während zu gleicher Zeit diese Beleuchtungseinheiten durch eine Ladeleitung gruppenweise in Reihen geschaltet mit der Hauptanlage verbunden werden. Die Zellen der hintereinander geschalteten Batterieen werden so gewählt, dafs bei normalem Betriebe der Hauptanlage auf jede Zelle der Notbatterieen eine Spannung von etwa 2,1 Volt entfällt. Infolgedessen können die Notlampen unter normalen Verhältnissen direkt von der Hauptanlage gespeist werden, während die zugehörigen kleinen Batterieen nur zum Ausgleich benutzt werden, und jederzeit mit ihrer vollen Kapazität zur Verfügung

stehen. Im Momente des Versagens der Hauptanlage infolge einer Stromunterbrechung oder eines Kurzschlusses treten die kleinen Notbatterieen selbsttätig in Wirksamkeit und speisen die Notlampen ohne Unterbrechung weiter. Bei diesem System kommt man also mit ver-

Fig. 459.



hältnismäfsig kleinen Batterieen für die Notlampen aus und braucht die Zellen zum Zwecke der Aufladung nicht hin und her zu transportieren, wobei aber die Unabhängigkeit der einzelnen Notlampen von der Hauptanlage vollständig gesichert erscheint.

§ 140. Stromverteilung und Spannungsverlust in einfachen Leitungen. Ein einfacher Fall der Berechnung des Spannungsverlustes in einer Speiseleitung ist bereits auf S. 303 behandelt.

Wir greifen aus den zahlreichen Fällen einige weitere heraus, die für den elektrischen Betrieb an Bord besonderes Interesse haben. In Fig. 460 sei von den Polklemmen der Dynamo bezw. von den Sammelschienen des Hauptschaltbrettes eine Leitung mit dem Querschnitte Q bis nach a gezogen. An den Stellen b und c werden bezw. die Ströme i_2 und i_1 abgezweigt, während bei a der Strom i_3 verbraucht wird. L_1, L_2 und L_3 sind die Leitungs-

längen vom Hauptschaltbrett nach den Orten c, b und a. In der Leitung vom Hauptschaltbrett bis c fliefst der Strom $i_1 + i_2 + i_3$, während in der

Fig. 460.

Leitung von c bis b der Strom $i_2 + i_3$ fliefst (vergl. § 16). Der Spannungsverlust e vom Hauptschaltbrett bis a ist nach dem **Ohmschen** Gesetze also

$$e = \left[\frac{(i_1 + i_2 + i_3) L_1}{Q \cdot \lambda} + \frac{(i_2 + i_3)(L_2 - L_1)}{Q \cdot \lambda} + \frac{i_3 (L_3 - L_2)}{Q \cdot \lambda}\right] 2.$$

Der Klammerausdruck gibt nur den Spannungsverlust in der Hin- oder in der Rückleitung an.

Nach einfachen Umformungen ergibt sich:

$$(83) \qquad e = \frac{2}{\lambda Q}(i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L_3) \text{ Volt.}$$

$i_1 L_1$ nennt man das **Strommoment** von i_1 in Bezug auf den Anfangspunkt der Leitung.

$$(84) \qquad \text{Spannungsverlust} = \frac{2}{\lambda . Q} \cdot \sum_{1}^{3} i L,$$

wobei $\Sigma i L$ die Summe aller Momente der von derselben Leitung abgezweigten Ströme darstellt.

Spezielles Beispiel. $L_1 = 20$ m; $L_2 = 34$ m und $L_3 = 48$ m. Bei c seien 20 Glühl. (110 Volt, 25 N.K., 0,78 Amp.), bei b seien 24 Glühl. (16 N.K., 110 Volt, 0,5 Amp.) und bei a seien 40 Glühl. (16 N.K., 110 Volt, 0,5 Amp.) angeschlossen. Der Spannungsverlust vom Hauptschaltbrett bis a soll 2,5 Volt betragen, wenn alle Lampen eingeschaltet sind.

Wir haben

$$i_1 = 15{,}6 \text{ Amp.}; \; i_2 = 12 \text{ Amp.}; \; i_3 = 20 \text{ Amp.}$$

$$2{,}5 = \frac{2}{60 \, . \, Q}(15{,}6 \, . \, 20 + 12 \, . \, 34 + 20 \, . \, 48)$$

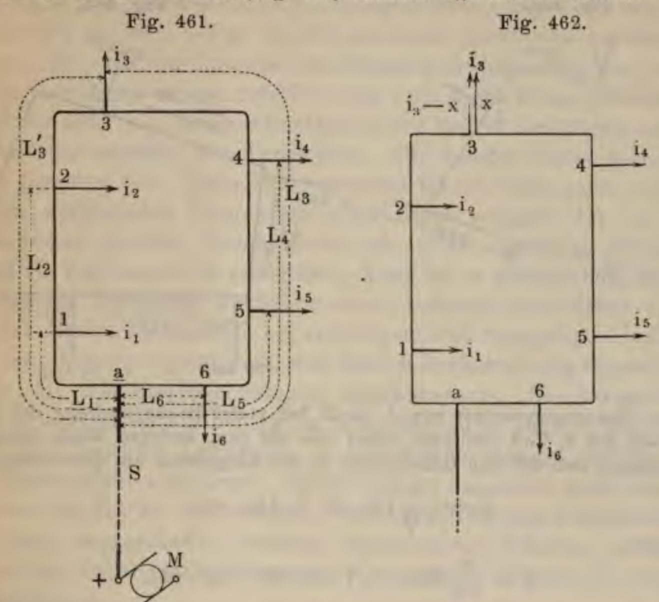
$Q = 22{,}4$ qmm. Dabei wäre also vom Hauptschaltbrett nach dem Punkte a eine Leitung mit dem Normalquerschnitte 25 qmm zu verlegen. Brennen niemals die oben genannten Lampen gleichzeitig, und ist auch auf eine Vergröfserung der Zahl der angeschlossenen Lampen nicht weiter Rücksicht zu nehmen, so kann der Querschnitt entsprechend geringer genommen werden.

§ 141. Ringleitung. Fig. 461 stellt eine Ringleitung dar, an welche sechs Energieaufnehmer angeschlossen sind. Bei a ist der Ringleiter mit dem Generator M verbunden. Der Übersicht wegen ist nur die Hinleitung gezeichnet, wir wollen jedoch voraussetzen, dafs eine besondere Rückleitung von derselben Beschaffenheit wie die Hinleitung vorhanden ist.

i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 und i_6 seien die Ströme, welche bei voller Belastung dem Ringleiter entnommen werden. Wir berechnen zunächst die Stromverteilung im Ringleiter. Meistens wird ein Energieaufnehmer vorhanden sein, welcher

von beiden Seiten Strom erhält; wir nehmen an, dafs im vorliegenden Falle dieses der Abnehmer 3 sei, und zwar erhalte derselbe von 4 her den Strom x, also von 2 her $i_3 - x$. Wir können dann bei 3 den Ringleiter zerschneiden und ihn als aus zwei Teilen (Fig. 462) zusammengesetzt betrachten.

Fig. 461. Fig. 462.



Von a bis 3 mufs der Spannungsverlust e auf dem Wege $a - 6 - 5 - 4 - 3$ so grofs sein, wie auf dem Wege $a - 1 - 2 - 3$. Wir erhalten daher in Rücksicht auf die Gleichung (84) des vorigen Paragraphen

$$e = \frac{2}{\lambda Q}\,[i_1 L_1 + i_2 L_2 + (i_3 - x) L'_3] = \frac{2}{\lambda Q}\,(x L_3 + i_4 L_4 + i_5 L_5 + i_6 L_6].$$

Daraus

$$\frac{i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L'_3 - i_4 L_4 - i_5 L_5 - i_6 L_6}{L_3 + L'_3} = x.$$

Demnach ist die Stromverteilung im Ringleiter vom Querschnitte Q desselben unabhängig. Nach der Berechnung von x können dann die Ströme in den einzelnen Abschnitten des Ringleiters und ferner nach der Gleichung (84) der maximale Spannungsverlust bei voller Belastung ermittelt werden. Der Spannungsverlust ist am gröfsten von dem Anschlufs a des Ringleiters bis zu dem Energieaufnehmer, welcher von beiden Seiten Strom erhält.

Spezielles Beispiel: Die Energieverteilung findet in dem in Fig. 463 dargestellten Ringleiter statt; bei A tritt der Strom in den Ringleiter ein. Bei I sind 40 Glühlampen (16 N.K., 0,5 Amp., 110 Volt), bei II 60 Glühlampen (110 Volt, 0,8 Amp., 25 N.K), bei III sechs Bogenlampen von je 10 Amp. Stromstärke, bei IV acht Bogenlampen von je 6 Amp. eingeschaltet. Wir machen die Annahme, dafs von II nach III der Strom x fliefst.

$$\frac{2}{\lambda Q}\,(20 \,.\, 20 + 48 \,.\, 44 + x \,.\, 60) = \frac{2}{\lambda Q}\,[24 \,.\, 28 + (30 - x)\, 48].$$

$$x = -\,3{,}7 \text{ Amp.}$$

Demnach fließt nicht, wie wir angenommen haben, der Strom 3,7 Amp von II nach III, sondern wegen des negativen Vorzeichens von III nach II, und wir erhalten die in Fig. 464 dargestellte Stromverteilung.

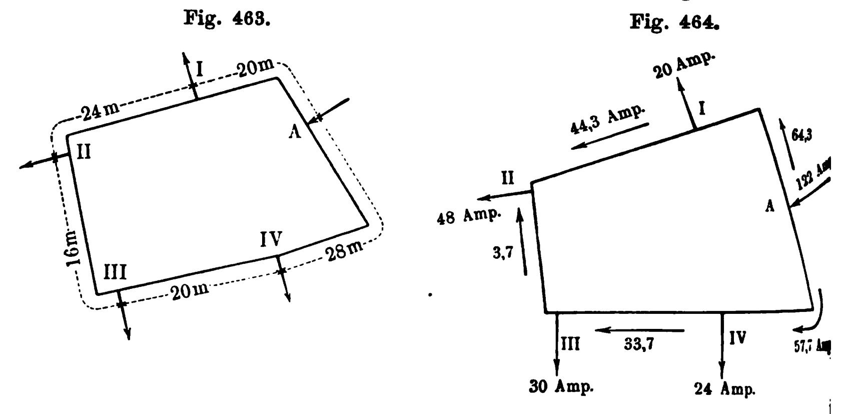


Fig. 463. Fig. 464.

Der Spannungsverlust von A bis II bei voller Beanspruchung des Ringleiters soll nur 2 Volt auf dem einen wie auf dem anderen Wege betragen. Wir erhalten also für den Querschnitt Q des Ringleiters die Gleichung

$$2 = \frac{2}{\lambda Q}\,[20 \,.\, 20 + 44{,}3 \,.\, 44]$$

oder auch

$$2 = \frac{2}{\lambda Q}\,[24 \,.\, 28 + 30 \,.\, 48 + 3{,}7 \,.\, 64].$$

Aus beiden Gleichungen ergibt sich, wenn $\lambda = 60$ gesetzt wird,

$$Q = 39{,}15 \text{ qmm, also} \sim 40 \text{ qmm.}$$

Sechzehntes Kapitel.

Isolation des Leitungsnetzes.

§ 142. Arten der Fehler in den Leitungen und Entstehung derselben. Wir beschränken uns hier ausschließlich auf die Isolation der elektrischen Anlagen auf Schiffen und auf die Messung derselben. Wir unterscheiden:

1. Fehler durch Bruch oder durch Zerreißen eines Leiters. Die Fehlerstelle ergibt sich hierbei meistens durch die Ermittelung der Zweigleitungen, in denen die Stromabgabe aufgehört hat. Bei gehörigem mechanischen Schutz der Leitungen und sorgfältiger Verlegung derselben kommt dieser Fehler selten vor.

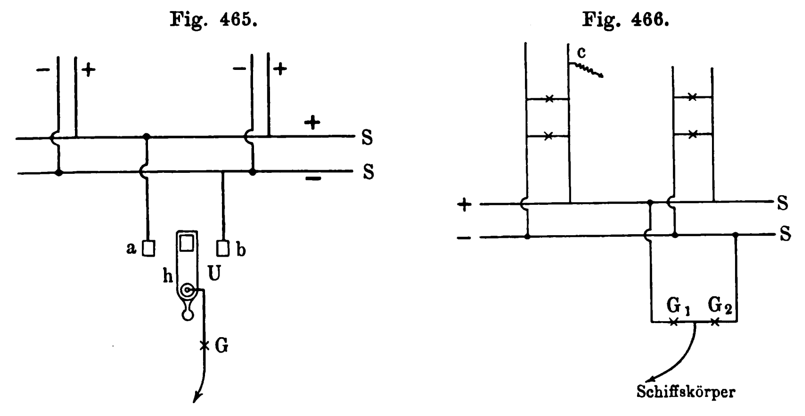
2. Fehler durch Kontakt zwischen dem Leiter und dem Schiffskörper. Solange nur eine Stelle an einem der Leiter des zweipoligen

Netzes schadhaft ist und im übrigen das Leitungsnetz, das Schaltbrett und die Dynamo sehr sorgfältig isoliert sind, schadet dieser Fehler an sich nicht viel. Wenn jedoch ein zweiter Kontakt im Netze auftritt an einer Stelle, wo eine merkliche Spannungsdifferenz gegen die erste vorhanden ist, so wird sofort ein Stromschlufs durch den Schiffskörper erfolgen. Je nach dem Betrage des Übergangswiderstandes des Stromes aus den Leitungen in den Schiffskörper wird dieser Strom stärker oder schwächer sein. Bei direkter Berührung der beiden Leitungen mit dem Schiffskörper entsteht ein Kurzschlufs. Die meisten Fehler bilden sich jedoch langsam aus. Kein Isoliermaterial ist so vollkommen, als dafs bei den wechselnden Temperaturverhältnissen und bei der in vielen Schiffsräumen grofsen Feuchtigkeit sich nicht allmählich schadhafte Stellen im Leitungsnetze ausbilden; daher ist es erforderlich, dafs das Leitungsnetz fortgesetzt bezüglich seiner Isolation kontrolliert wird.

Der direkte Kurzschlufs bei einpoligem und zweipoligem Leitungsnetze ist oft weniger gefährlich, weil hierbei in einer richtig ausgeführten Anlage die Abschmelzsicherungen durchbrennen. Bei mangelhafter Isolation und hierdurch bedingtem Stromübergang kann jedoch, bei in Holzleisten verlegten Leitungen, so viel Wärme erzeugt werden, dafs eine Feuersgefahr nahe liegt. Dabei braucht immerhin noch nicht der Strom solche Stärke anzunehmen, dafs die Sicherungen abschmelzen; der durch mangelhafte Isolation angerichtete Schaden ist daher in manchen Fällen viel schlimmer als der durch direkten Kurzschlufs entstandene.

§ 143. Anzeiger für Stromschlufs durch den Schiffskörper (Schiffs- oder Erdschlufs). Die Sammelschienen *SS* des Schalt-

Fig. 465. Fig. 466.



brettes (Fig. 465) sind bezw. mit den Kontakten *a* und *b* des Umschalters *U* verbunden. Vom Hebel desselben führt eine Leitung nach dem Schiffskörper, in welcher eine Glühlampe *G* eingeschaltet

ist. Wird der Hebel *h* auf *a* gedreht und ist in der —-Leitung ein Fehler, so geht der Strom von S_+ über *h* durch die Glühlampe und den Schiffskörper zur Fehlerstelle der —-Leitung. Ist der Fehler nur klein, der Übergangswiderstand von der Fehlerstelle zum Schiffskörper also noch sehr grofs, so wird die Lampe vielleicht gar nicht leuchten. Erst wenn der Fehler eine gewisse Höhe erreicht hat, ist er mit der in Fig. 465 dargestellten Vorrichtung bemerkbar. Immerhin läfst sich in manchen Fällen aus dem Grade des Leuchtens auf die Gröfse des Fehlers schliefsen. Statt der Glühlampe wird besser ein Voltmeter eingeschaltet, das als Strommesser für den schwachen, durch die Fehlerstelle bezw. Fehlerstellen fliefsenden Strom benutzt wird. Hierfür eignen sich besonders die nach dem Weston-Prinzip gebauten Strommesser mit hohem Widerstande. Das Weston-Instrument gibt dann direkt durch die Gröfse der Zeigerablenkung ein Mafs für den vorhandenen Fehler. Die Prüfung der +-Leitung erfolgt in derselben Weise durch Drehen des Hebels *h* auf den Kontakt *b*.

Wenn ein eintretender Schiffsschlufs sich selbsttätig anzeigen soll, so wird die in Fig. 466 dargestellte Schaltung verwendet. Zwischen den Schienen des Schaltbrettes sind zwei Lampen in Reihe geschaltet; von der Verbindung derselben führt eine Leitung an den Schiffskörper. Da beide Lampen für die Betriebsspannung konstruiert sind, so glühen sie dunkel bei normalem Zustande des Netzes. Tritt in der +-Leitung bei *c* ein Fehler ein, so leuchtet G_2 heller als G_1. Nach dieser Methode sind nur Differenzen in der Isolation beider Hauptleitungen bezw. deren Abzweigungen gegen den Schiffskörper zu erkennen.

§ 144. Gröfse des Isolationswiderstandes und Messung desselben. Zur Feststellung des Isolationswiderstandes des Leitungsnetzes empfiehlt es sich, besonders vor dem Antritt längerer Reisen, eine sorgfältige Messung anzustellen.

Über den Betrag des Isolationswiderstandes gilt folgendes: Der Isolationswiderstand des ganzen Leitungsnetzes gegen Schiffskörper soll mindestens $\frac{1000000}{n}$ Ohm betragen, wobei *n* die Zahl der im Leitungsnetz installierten Lampen ist, wobei für jede Bogenlampe, jeden Motor und anderen stromverbrauchenden Apparat ein Äquivalent von zehn Glühlampen zu rechnen ist. Für jede Hauptleitung und die mit ihr verbundenen Zweigleitungen soll die Isolation mindestens

$$10000 + \frac{1000000}{n} \text{ Ohm}$$

betragen, wo bei *n* die Zahl der an diese Hauptleitung angeschlossenen Lampen ist.

Diese Forderungen sind in Übereinstimmung mit den vom Verbande deutscher Elektrotechniker gegebenen Vorschriften für Niederspannungsanlagen.

Ausführung der Isolationsmessung.

I. Messung der Isolation des ganzen Leitungsnetzes gegen den Schiffskörper. Die Leitungen von den Maschinen nach dem Schaltbrette werden durch die Ausschalter unterbrochen, so dafs jede Verbindung des Schaltbrettes, bezw. der auf demselben angebrachten Apparate mit der Maschine unterbrochen ist. Die Messung erfolgt bei der normalen Betriebsspannung; entweder dient als Stromquelle dabei eine der Dynamos oder auch eine tragbare Akkumulatorenbatterie oder Batterie von kleinen Trockenelementen, deren Klemmenspannung also 110 Volt mindestens betragen mufs. Die Schienen SS (Fig. 467) des Schaltbrettes werden miteinander verbunden, sämtliche Ausschalter der Hauptleitungen sind eingeschaltet, ebenso alle Schalter in den Zweigleitungen; auch sind alle Sicherungen eingesetzt. Jedoch werden Glühlampen, Bogenlampen, Motoren und andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt.

Der negative Pol der Mefsbatterie (Fig. 467, a. f. S.) bezw. der Dynamo wird durch den Weston-Spannungsmesser S mit den Sammelschienen verbunden, während der +-Pol der Mefsbatterie bezw. Dynamo mit dem Schiffskörper verbunden wird.

1. Der Ausschalter h wird geschlossen und die Spannung E_1 der Dynamo bezw. Batterie abgelesen.

2. Der Ausschalter h wird geöffnet und die Spannung E_2 bei S abgelesen. Hat S den Widerstand W, so fliefst in diesem Falle durch S und damit auch von der Maschine durch den Schiffskörper in das Leitungsnetz durch die Isolierschicht der Strom E_2/W. Ist ferner F der Übergangswiderstand vom Schiffskörper zum Leitungsnetz, so ist der Widerstand des Stromweges zwischen den Polen der Dynamo $F + W$, weil der Widerstand der Leitungen aus Kupfer gegenüber W sehr klein ist. Nach dem Ohmschen Gesetze ergibt sich

$$E_1 = (F + W) \cdot \frac{E_2}{W},$$

woraus

$$F = W\left(\frac{E_1}{E_2} - 1\right) \text{ Ohm} \tag{85}$$

folgt.

Die Ablesung der Spannung E_2 soll erst erfolgen, nachdem die Leitung etwa während einer Minute der Betriebsspannung ausgesetzt ist.

II. Fehlerbestimmung der einzelnen vom Schaltbrett abzweigenden Hauptleitungen und deren Zweigleitungen, sowohl der Hin- als auch der Rückleitungen einzeln.

Bei dieser Messung (Fig. 468) müssen sämtliche stromverbrauchenden Apparate (Lampen, Motoren, Heizkörper u. s. w.) von

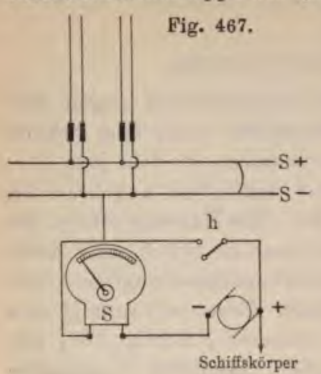


Fig. 467.

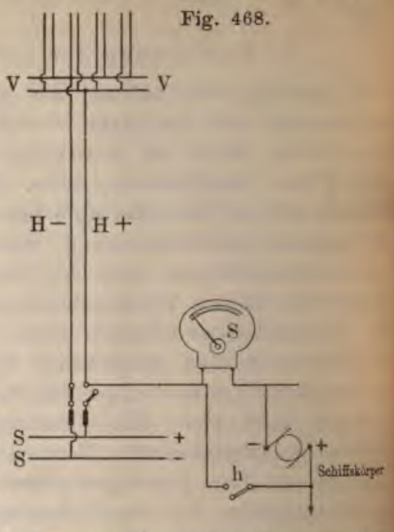


Fig. 468.

der zu untersuchenden Leitung abgeschaltet sein, dagegen sind sämtliche Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen. Nach Fig. 468 soll der Isolationswiderstand der Leitung H_+ und der an sie angeschlossenen Verteilungsleitungen gegen den Schiffskörper gemessen werden. In der Verteilungsstation VV sind sämtliche Ausschalter geschlossen. S ist ein Weston-Spannungsmesser.

1. Man mifst nach dem Einschalten von h die Spannung der Dynamo bezw. der Batterie.

2. h wird geöffnet, und nach etwa einer Minute wird die Spannung E_2 in S abgelesen. Ist W der Widerstand des Voltmeters und f der Isolationswiderstand der Hauptleitung H_+ und der an sie angeschlossenen Verteilungsleitungen gegen den Schiffskörper, so ergibt sich:

$$f = W\left(\frac{E_1}{E_2} - 1\right) \text{Ohm}.$$

Die Untersuchung der einzelnen Hauptleitungen kann in anderer Weise auch während des Betriebes stattfinden.

Zur Schätzung des Isolationswiderstandes genügt es auch, einen Wechselstrominduktor nebst Wechselstromglocke zu verwenden (siehe § 145). Die Schaltung bei der Untersuchung der einzelnen Hauptleitungen und ihrer Abzweigungen, bezw. der Zweigleitungen allein, erfolgt nach Fig. 468, wobei an Stelle von S die Wechselstromglocke zu verwenden ist; die Leitung mit dem Schalter h fällt fort, an Stelle der Dynamo tritt der Wechselstrominduktor. Aus der Geschwindigkeit der Kurbeldrehung, bei welcher ein Läuten der fest aufgehängten Glocke eintritt, läfst sich auf den Isolationswiderstand schliefsen. Durch vorherige Messung unter Benutzung ei Rheostaten (siehe Fig. 36) kann man ungefähr den Widerstand des Schliefsu kreises feststellen, bei welchem bei schnellster Kurbelbewegung überha noch ein Läuten der Glocke eintritt.

Sechster Abschnitt.

Elektrisches Signalwesen und Fernzeigeapparate.

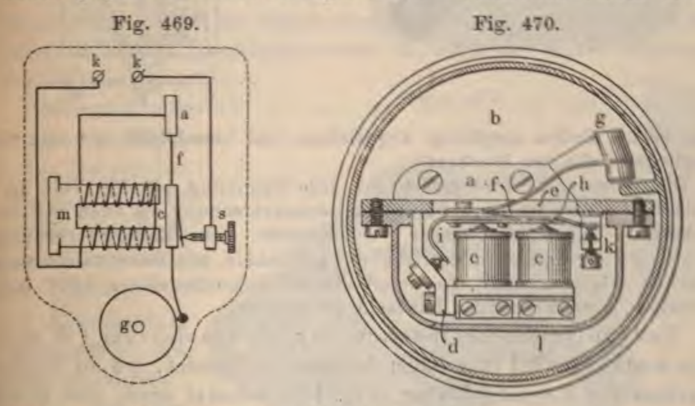
Siebzehntes Kapitel.

Elektrische Wecker und Telephonie.

§ 145. **Elektrische Wecker.** Auf einem Grundbrettchen ist er Elektromagnet *m*, die Glocke *g* und der Halter *a* befestigt, welcher n der Blattfeder *f* den vor den Polen des Magneten liegenden Anker *c* ägt. An der Rückseite des Ankers befindet sich eine Feder mit latinkontakt, der gegen die Platinspitze einer kleinen Schraube *S* sich gt, die in einer auf dem Grundbrett befestigten Mutter drehbar ist.

Wird der Wecker mit den Klemmen *KK* in einem Stromkreis ein-schaltet, so zieht der Elektromagnet den Anker *c* an, wobei der rom an dem Platinkontakte unterbrochen wird. Der Anker *c* schnellt so wieder von den Polen zurück, schliefst beim Anlegen des Platin-ntaktes gegen die Schraubenspitze von neuem den Strom u. s. w.

Fig. 469. Fig. 470.



Für den elektrischen Signalbetrieb an Bord eignen sich besonders e wasser- und luftdichten Alarmwecker. Bei den von emens und Halske, A. G., Berlin, konstruierten Alarmweckern ig. 470) wird der Abschlufs durch eine Metallmembran (Membran-

wecker) erreicht, die einen Teil des das Werk umschliefsenden, kastenförmigen Gehäuses *e* bildet. Die Membran *f* trägt aufsen den Klöppel *g* und innen den Anker *h*. Die Membran übt die bei der Glocke durch die Blattfeder auf den Anker bewirkte Federkraft aus. Der Klöppel schlägt gegen einen an der Glockenschale angegossenen Vorsprung.

Aufser dieser Konstruktion wird von derselben Firma auch für den gleichen Zweck ein Wecker mit Cylindermembran (Fig. 471) hergestellt, an deren Innenseite der Anker befestigt ist, während an der entsprechenden Aufsenseite der Stiel mit dem Klöppel angebracht ist. Die Cylindermembran

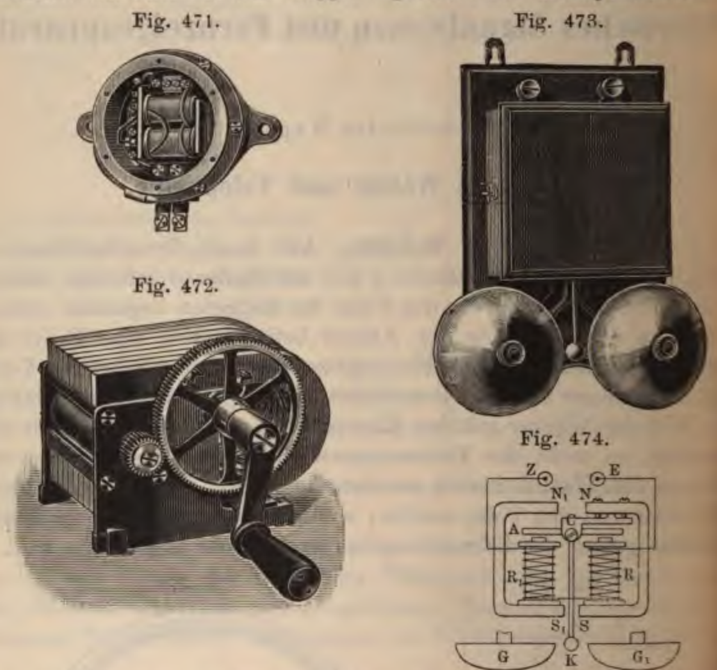


Fig. 471. Fig. 472. Fig. 473. Fig. 474.

ist an beiden Enden sorgfältig abgedichtet und umschliefst die sämtlichen beweglichen Teile des Weckers.

Die Membranwecker werden für jede Spannung bis 120 Volt in verschiedenen Gröfsen und sowohl mit Selbstunterbrechung als auch mit Selbstausschlufs — Kurzschlufswecker — hergestellt. Ihr Energieverbrauch ist sehr gering; so sind zum Betriebe eines Weckers mit Selbstunterbrechung, der 500 Ω Widerstand hat, bei empfindlicher Ankereinstellung 0,007 Ampère erforderlich, für sehr starkes Läuten 0,03 Ampère.

Der polarisierte Wecker für Wechselstrom (Wechselstromwecker) wird in solchen Anlagen verwendet, wo an Stelle der Batterieen ein Magnetinduktor (Fig. 472) benutzt wird, der Wechselströme bei der Drehung der Ankerspulen hervorbringt (vergl. § 58, Fig. 213). In Fig. 473 ist ein Wechselstromwecker der Aktiengesellschaft Mix und Genest, Berlin, dargestellt, dessen Schaltung sich aus Fig. 474 ergibt.

Auf den Südpolen zweier hufeisenförmigen Magnete sind die)rahtspulen $R R_1$ mit Eisenkern aufgesetzt. Der an dem einen Nordpol)efestigte Arm trägt einen um C drehbaren Anker A, welcher nord- nagnetisch ist; die beiden ihm gegenüber liegenden Enden der Eisen- cerne sind Südpole. Durch den Wechselstrom werden die Eisenkerne lerartig magnetisiert, dafs abwechselnd der eine Pol derselben gestärkt, ler andere geschwächt wird. Durch die Schwingungen des Ankers A chlägt der an ihm befestigte Klöppel K abwechselnd an die eine und an lie andere Glocke.

§ 146. Tableau oder Anzeigevorrichtung. Beim Anruf von nehreren Stellen nach einem Orte wird an letzterem ein Tableau mit ur einer Glocke aufgestellt; bei jedem Rufe ertönt die Glocke, und as Tableau zeigt, von welcher Stelle der Ruf kommt.

Für Bordzwecke eignet sich am besten das Tableau mit Fall- lappen. Fig. 475 zeigt ein Tableau der Aktiengesellschaft Mix und enest, Berlin. Der drehbare Vinkelhebel (Fig. 476) trägt an em einen Hebelarm die kreis- örmige Fallklappe, während am nderen ein Gegengewicht liegt. Iit einer Nase legt sich der rstere gegen den Vorsprung nes Hebels, an dessen anderem nde der Anker liegt. Solange die Iagnetspule stromlos ist, bleibt er Anker in geringer Entfernung on den Polen. Fliefst ein Strom durch die Spule, der an irgend einer er rufenden Stellen geschlossen wird, so wird der Anker angezogen, er Fallklappenhebel ird frei, und die allklappe wird ge- eht, bis sie vor der r gehörigen Öff- ung des die Fall- appen enthaltenden stens gelangt, wo- i ein Anschlagstift e Bewegung des allklappenträgers grenzt. An der llklappe selbst wird ne Nummer oder ne andere Bezeich- ng der rufenden

Fig. 475.

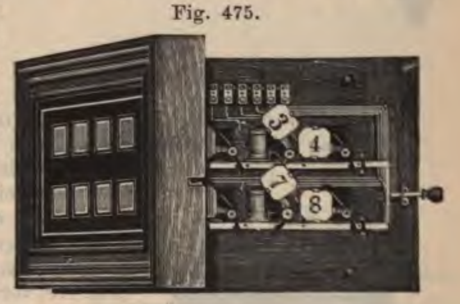


Fig. 476.



Stelle angebracht (Fig. 475). Durch Bewegen eines Schiebers, der für jede Fallklappe einen Anschlagstift trägt, werden die Fallklappen wiederum gehoben und für neuen Anruf bereit gehalten.

Fig. 477.

Fig. 477 stellt ein Tableau der Aktiengesellschaft Mix und Genest in Verbindung mit acht Stationen dar. Im Tableau sind acht Fallklappen vereinigt; je ein Ende der sämtlichen acht Magnetspulen ist mit dem Wecker verbunden, während die anderen acht Enden bezw. an die Anschlüsse 1 bis 8 gelegt sind.

Fig. 478.



An den Stellen 1 bis 8 sind Kontaktknöpfe (Fig. 478) vorhanden, bei denen durch einen Druck auf einen Knopf c das Berühren der sichelförmigen Metallfedern f und f_1 erfolgt, wobei der Strom geschlossen wird.

§ 147. Das Telephon. In Fig. 479 ist der Längsschnitt durch ein Telephon mit stabförmigem Magneten NS dargestellt. Der Magnet liegt in einem Gehäuse AA aus Hartgummi und trägt am einen Ende eine Spule D aus feinem isolierten Kupferdraht, der an die Klemmen c und d angeschlossen ist. Dicht vor dem Nordpole des Stabes liegt das am Rande eingeklemmte kreisförmige und dünne Eisenblech. Zum Schutze des Eisenblechs liegt über demselben das Stück BB mit trichterförmiger Mündung und einer kreisförmigen Öffnung an der der Eisenplatte zugekehrten Seite. Werden zwei solche Telephone durch zwei voneinander isolierte Leitungen miteinander verbunden, so werden die gegen die Eisenscheibe des einen Telephons gesprochenen Worte im anderen wiedergehört. Die Entfernung beider Telephone voneinander kann dabei mehrere Kilometer betragen, ohne dafs die Übertragung der Worte undeutlich wird.

Trifft eine Schallwelle beim Sprechen gegen die Eisenmembran

des ersten Telephons (Sender), so wird die Membran in der Mitte zunächst durchgebogen und in Schwingungen versetzt. Hierdurch wird die

Fig. 479. Fig. 480.

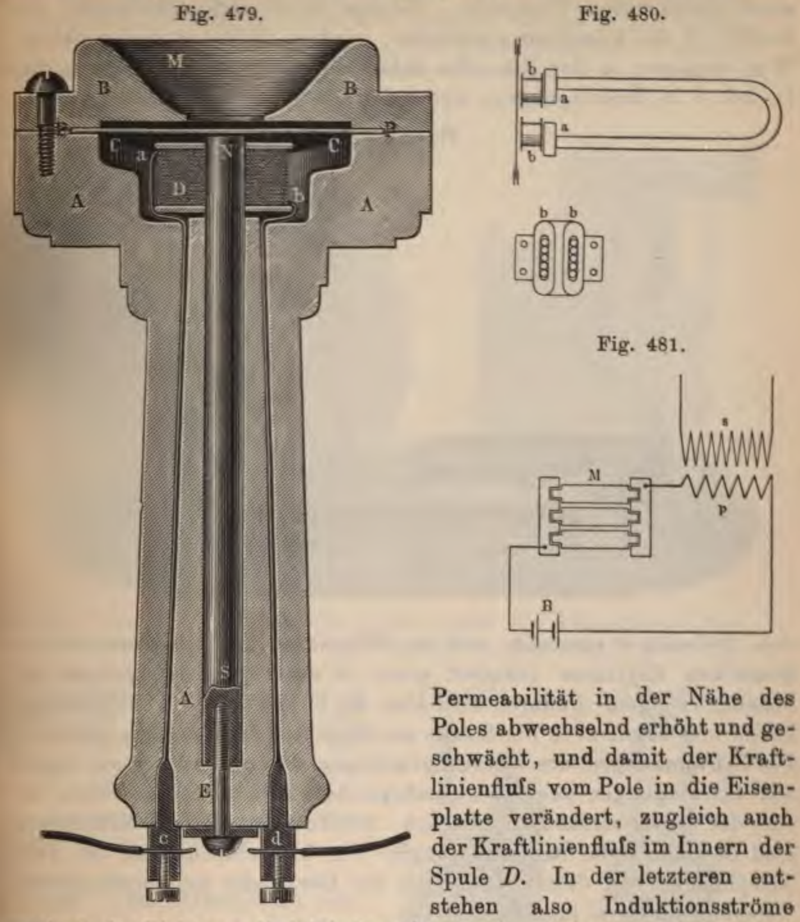


Fig. 481.

Permeabilität in der Nähe des Poles abwechselnd erhöht und geschwächt, und damit der Kraftlinienfluſs vom Pole in die Eisenplatte verändert, zugleich auch der Kraftlinienfluſs im Innern der Spule *D*. In der letzteren entstehen also Induktionsströme wechselnder Richtung, die in die Spule des zweiten Telephons (Empfänger) geleitet, je nach der Richtung den Magnetismus des von der Spule umschlossenen Poles stärken oder schwächen. Die elastische eiserne Membran des Empfängers wird also bald stärker, bald weniger stark durchgebogen, sie gerät in Schwingungen, die denen der Membran im Sender durchaus entsprechen.

Zur Erhöhung der Lautwirkung wird auch an Stelle des Stabmagneten ein hufeisenförmiger Magnet verwendet. Auf die Pole des Magneten sind Polschuhe *aa* aufgesetzt, in welche je fünf oder mehr weiche Eisendrähte geschraubt sind, die den Kern der Spulen *b* (Fig. 480) bilden.

§ 148. Das Mikrophon. Eine sehr einfache Konstruktion desselben ist in Fig. 482 dargestellt. Über zwei Stäbchen *b* und *b'* aus

harter Gaskohle ist ein drittes ebensolches Stäbchen *c* gelegt. Dieses Mikrophon und das Telephon *T* als Empfänger liegen im Stromkreise eines galvanischen Elementes. Solange keine Erschütterungen des Deckels *A* des Kästchens stattfinden, wird im Telephon nichts gehört. Wird dagegen in der Nähe des Kästchens gesprochen, so gerät der Deckel *A* in Schwingungen, wobei der Übergangswiderstand zwischen

Fig. 482.



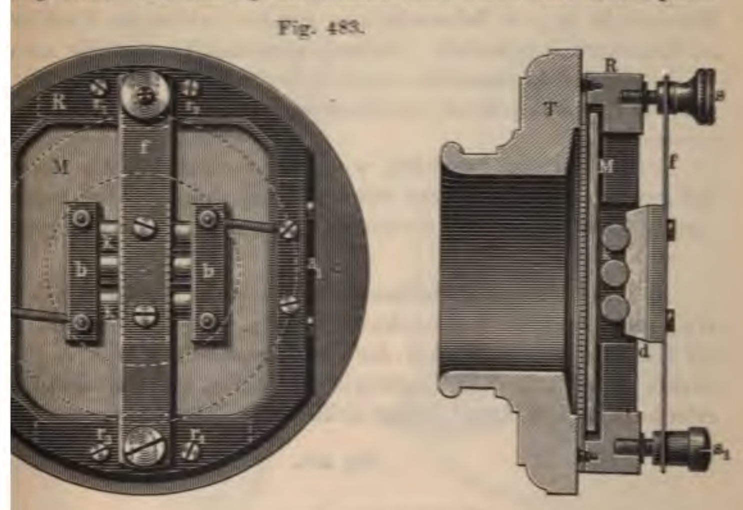
dem Stäbchen *c* einerseits und den Stäbchen *b* und *b'* andererseits in demselben Rhythmus geändert wird, in dem die Schwingungen des Schalles erfolgen. Dadurch wird aber die Stromstärke im Schliefsungskreise und damit auch die Stärke des Magneten im Telephon geändert. Die Schwankungen des Übergangswiderstandes im Mikrophon haben also Schwingungen der Eisenmembran des Telephons zur Folge, die sich der benachbarten Luft mitteilen. Bei Anwendung eines Mikrophons sind im ganzen die Stromänderungen viel beträchtlicher als bei zwei Telephonen, und damit sind auch die Geräusche im empfangenden Telephon sehr viel intensiver.

In Fig. 483 ist ein Mikrophon der Aktiengesellschaft Mix und Genest, Berlin, dargestellt, das für den Fernsprechverkehr als Sender (Aufgeber) gebraucht wird. *R* ist ein gufseiserner Rahmen mit vier Schrauben r_1 bis r_4 zur Befestigung des Mikrophons an dem Sprechapparat. *M* ist eine zwischen Gummibändern liegende Platte aus trockenem Tannenholz, welche zur Aufnahme der Schallschwingungen bestimmt ist. Auf dieser Platte sind zwei Kohlenbalken *b b* befestigt, die seitlich je drei cylindrische Bohrungen haben, in denen die Zapfen der cylindrischen Kohlenstäbchen *k k k* lagern. Durch eine mit zwei Regulierschrauben *s* und s_1 versehene Blattfeder *f* kann das in einer Messingfassung befestigte Stück Filz *d* lose an die Kohlenstäbchen *k* gedrückt werden. *T* ist der Sprechtrichter, und *a* und a_1 sind die Kontaktschrauben zum Einschalten des Mikrophons im Stromkreise.

Man unterscheidet zwischen Mikrophonen mit Kohlenwalzen und Kohlenscheiben und solchen (Kohlenklein-Mikrophonen), in denen

ſsig oder unregelmäßig geformte Kohlenteile den Kontakt vermitteln. letzteren gehört auch ein Mikrophon der Aktiengesellschaft Siemens lske, Berlin, bei dem in der Mitte der Sprechplatte aus Aluminium ner mit polierten Kohlenkörnern gefüllter seidener Beutel befestigt en Inhalt mit der Sprechplatte an der Befestigungsstelle in leitender ung steht. Die Öffnung des Beutels wird durch eine Kohlenplatte

Fig. 483.



sen, die mit regulierbarem Druck gegen die Kohlenkörner liegt. sind die Kohlenkörnermikrophone in einem drehbaren Gehäuse ange- um den Kohlenstaub an den ngsstellen der Kohlenkörner zu n und auch ein Zusammen- der Körner zu verhindern. Bei ger Konstruktion übertrifft das ikrophon an Empfindlichkeit meinen sehr weit das Walzen- eibenmikrophon.

Fig. 484. Fig. 485.



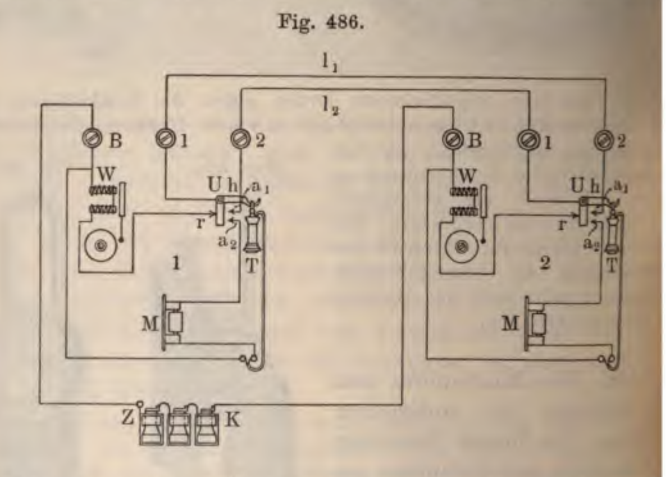
149. Das Mikrophon mit Telephon in indirekter ung. Die direkte Schaltung krophons und Telephons ist in Fig. 482 dargestellt. der indirekten Schaltung 81) liegt im Stromkreise terie H das Mikrophon M primären Spule p eines Ind... T...

Wickelung aus isoliertem Kupferdraht in 100 bis 200 Windungen gel
ist. Über der primären Wickelung liegt die sekundäre s mit 20(
3000 Windungen. Die Enden der sekundären Wickelung sin
dem Telephon (Empfänger) verbunden. Entstehen durch S
schwingungen Widerstandsänderungen im Mikrophon, so wir
Stromstärke in p in Schwankungen geraten, wobei der Kraftlinie
im Eisenkern sich ändert. Dadurch entstehen aber in der sekun
Wickelung Induktionsströme wechselnder Richtung (vergl. § 29), w
nun, ins Telephon geleitet, die Eisenmembran desselben in Schwing
versetzen.

Diese indirekte Schaltung wird insbesondere bei der Übertr
der gesprochenen Worte auf weite Entfernungen benutzt, währen
direkte Schaltung sich nur für kurze Entfernungen (Hausleitungen) e

§ 150. Telephonstationen. Telephonstation mit d
eingeschaltetem Mikrophon. In Fig. 488 ist eine Wands
für Hausbetrieb mit Wecker der Aktiengesellschaft Mix und Ge
Berlin, dargestellt. Zur Übertragung nach Fig. 486 sind drei Leit
erforderlich. Der Anruf erfolgt einfach durch Abnehmen des Tele

Fig. 486.



vom Halter h, wobei der vertikale Arm desselben sich gegen d
Kontakte a_1 und a_2 legt. Wird das Telephon in 2 abgenommen,
fließt der Strom von K nach Station 2 und hier durch Mikroph
und Telephon nach a_1 und a_2. Von der Klemme 2 fließt der Str
durch die Leitung 1 nach dem Wecker in der Station 1 und zum Zi
pol der Batterie. Beim Sprechen sind beide Telephone abgenomm
und im Stromkreise liegen die Mikrophone und Telephone in Reih
schaltung, während die Leitungen l_1 und l_2 parallel geschaltet
Verbindung der Stationen dienen.

Telephonstation mit indirekt eingeschaltetem Mikrophon. Apparate dieser Art, welche von der Aktiengesellschaft Mix und Genest, Berlin, herrühren, sind in Fig. 487 dargestellt. Die

Fig. 487. Fig. 488.

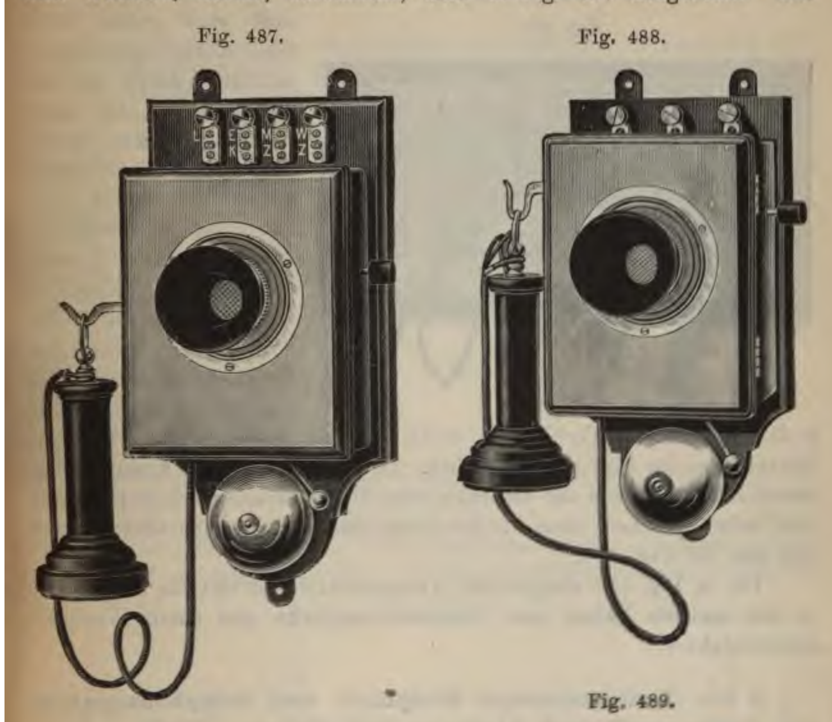
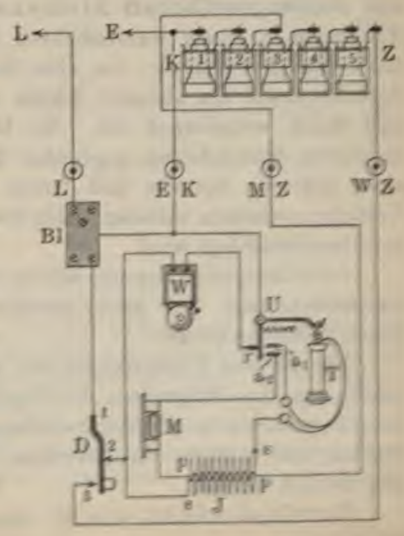


Fig. 489.



Schaltung im Innern des Apparates ergibt sich aus der Fig. 489. *U* ist der selbsttätige Umschalter, *D* der Druckknopf, *Bl* ein Blitzableiter, der nur zur Anwendung kommt bei Leitungen im Freien. *M* ist das Mikrophon und *J* der Induktor.

Für weitere Entfernungen wird nur eine Luftleitung *L* gelegt, während die Leitung *E* an eine ins Grundwasser gelegte Metallplatte (Drahtgitter aus Metall) führt. Der Stromlauf kann dann so betrachtet werden, wie wenn das feuchte Erdreich als Leiter dient.

Der Blitzableiter besteht im einfachsten Falle aus zwei an den Innenseiten geriefelten und dicht zusammenliegenden Metallplatten (Fig. 490), wobei die Schneiden der Platten gekreuzt liegen, so dafs eine grofse Zahl von Kreuzungspunkten entsteht, durch die das Überspringen des Entladungsstromes der atmosphärischen Elektrizität erleichtert wird (Plattenblitzableiter). Die Leitung L (Fig. 489) und der Druckknopf D sind mit der einen Platte verbunden, während das Erdreich E durch die Klemme EK mit der anderen Platte in Verbindung steht. Fig. 490 stellt einen Plattenblitzableiter für fünf Leitungen dar. Der Stromlauf beim Anrufen, das durch Niederdrücken des Druckknopfes D geschieht, sowie der Stromlauf beim Sprechen, wenn beide Telephone abgenommen sind, ergibt sich aus der Fig. 489.

Fig. 490.



Die in Fig. 487 dargestellte Telephonstation erhält für den Anruf in den meisten Fällen eine Wechselstromglocke und einen Wechselstrominduktor.

§ 151. Lautsprechende Telephone und Telephonapparate der Aktiengesellschaft Siemens und Halske, Berlin. Diese Telephone in einem wasserdichten Gehäuse kommen in solchen Anlagen zur Anwendung, wo eine laute und klare Übermittelung der Sprache sowie ein sicherer Schutz der Apparate gegen Feuchtigkeit und Staub erforderlich ist. Sie besitzen den seither an Bord gebrauchten Sprachrohren gegenüber den Vorteil einer leichteren Anlage, einer klareren Sprache und ferner den Vorteil der Einrichtung des Verkehrs zwischen beliebig vielen Stellen, ohne dafs dabei die Deutlichkeit beeinträchtigt wird.

Als Mikrophone kommen hierher die Beutelmikrophone (siehe S. 361) zur Anwendung. Der Anruf geschieht durch die auf S. 355 beschriebenen Membranwecker.

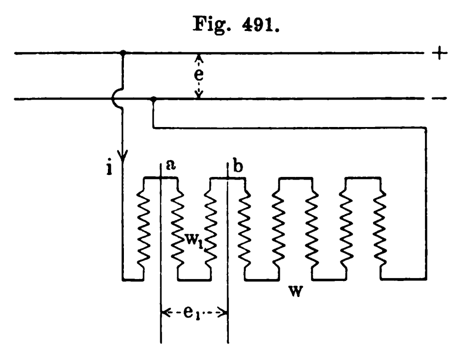
Für kürzere Entfernungen wie an Bord der Kriegs- und Handelsschiffe ist das Mikrophon der Sendestation mit dem Telephon der Empfangsstation in direkter Schaltung verbunden. Für die Lautübtragung auf gröfsere Entfernungen müssen Induktoren (siehe § 1 angewendet werden.

Vorteilhaft schaltet man die Apparate an eine vorhandene Sta

omanlage (Gleichstrom) an, indem man von zwei Punkten eines stimmten, zwischen den Hauptleitungen eingeschalteten Widerstandes ie passend gewählte Teilspannung zum Betriebe der Apparate abnmt.

Ist w der bei der Betriebsspannung e eingeschaltete Widerstand (Fig. 491), ist die Stromstärke i in demselben $i = e/w$.

Fig. 491.

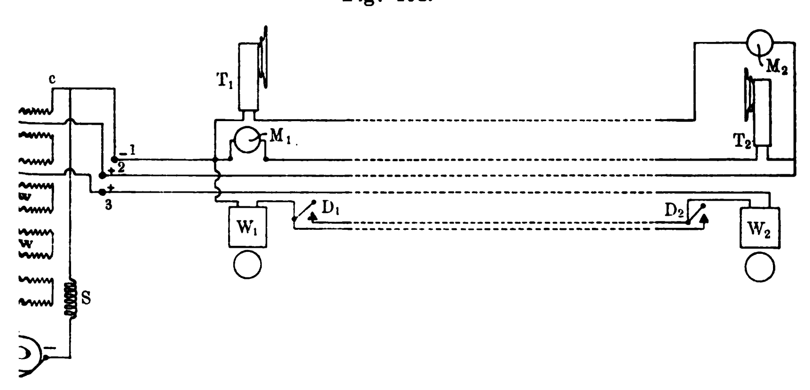


Liegt zwischen den Punkten and b der Widerstand w_1, so die Teilspannung zwischen nselben $e_1 = i w_1$. Je nach r Wahl von w_1 kann e_1 einen liebigen Teil von e betragen.

In Fig. 492 ist das hema der direkten Schaltung it Benutzung der Teilspanıng zwischen den Punkten a ıd b dargestellt. S ist eine rosselspule.

Rotiert der Anker der Dymo, so ist in Rücksicht auf den ırzschlufs der Spulen, welchen die Bürsten am Kollektor herbeiführen, die M.K der Dynamo eine freilich innerhalb sehr enger Grenzen variierende Gröfse. ese Schwingungen der E.M.K. des Ankers, die sich als die Summe der ktromotorischen Kräfte aller wirksamen Spulen ergibt, sind um so kleiner, gröfser die Spulenzahl ist und je weniger Windungen jede der Ankerspulen

Fig. 492.



hält. Wenngleich diese geringen regelmäfsigen und rasch aufeinander genden Schwingungen der E.M.K. an den Glühlampen, für welche die namo Strom liefert, nicht wahrnehmbar sind, ebenso wenig wie die Änderung Stärke eines Wechselstromes von genügender Frequenz, so können sie och durch das Telephon wahrgenommen werden. Die Drosselspule, d. i. e Spule aus zahlreichen Windungen isolierten Kupferdrahtes, die auf einen chlossenen Eisenkern liegen, gleicht infolge ihrer hohen Selbstinduktion bei der schwach vibrierenden E.M.K. entstehenden sehr geringen Stromwankungen aus.

Die Teilspannung zwischen den Punkten a und c bezw. 3 und 1 dient zum Betriebe des Weckerwerkes, oder das Weckerwerk ist in den Nebenschlufs zum Widerstand zwischen 1 und 3 gelegt. Die Teilspannung zwischen b und c bezw. 2 und 1 dient zum Betriebe der Telephone. Die Mikrophone und Telephone liegen in parallelen Leitungen und zwar ist immer das Mikrophon der einen Station mit dem Telephon der anderen verbunden.

Zum Betriebe der Mikrophone und Wecker können auch Elemente und Akkumulatoren verwendet werden. Dabei wird freilich für das Schliefsen des Mikrophonkreises ein besonderer Druckknopf aufser dem für den Anruf nötig.

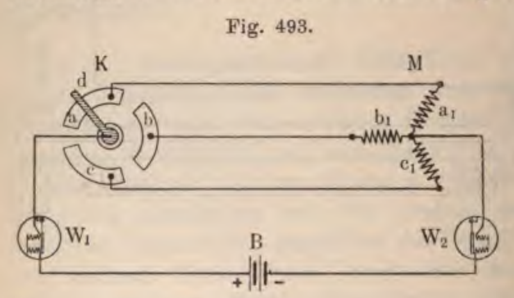
Durch sogenannte Stationswähler können von mehreren Stationen je zwei in Verbindung gebracht werden, oder eine Centralstelle kann mit jeder einzelnen Empfangsstation, oder auch mit mehreren oder mit allen zugleich in Verbindung gesetzt werden.

Achtzehntes Kapitel.

Schiffskommando- und Signalapparate.

§ 152. Die Maschinen-, Kessel- und Rudertelegraphen von Siemens und Halske. Zur Erklärung der Wirkungsweise dieser Apparate diene Fig. 493. An der Sendestation K seien drei Kontakte a, b und c vorhanden, auf denen die Kurbel d, welche durch den Wecker W_1 mit der Batterie B verbunden ist, bewegt werden kann. Als Empfänger dienen drei Magnete, deren Spulen mit a_1, b_1, c_1 bezeichnet sind. Die drei äufseren Enden dieser Spulen sind bezw. mit den Kontaktstücken a, b, c verbunden, während die drei anderen Enden dieser Spulen unter sich und durch eine den Wecker W_2 enthaltende Leitung mit dem —-Pol der Batterie in Verbindung stehen. Liegt die Kurbel auf a, so ist allein der Magnet a_1 erregt; liegt die Kurbel aber auf b oder c, so ist bezw. b_1 oder c_1 erregt. Denken wir uns die Kerne der drei Magnete vertikal gestellt und in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegend, während im Mittelpunkte des letzteren ein kleiner länglicher, eiserner Zeiger horizontal drehbar ist, so wird

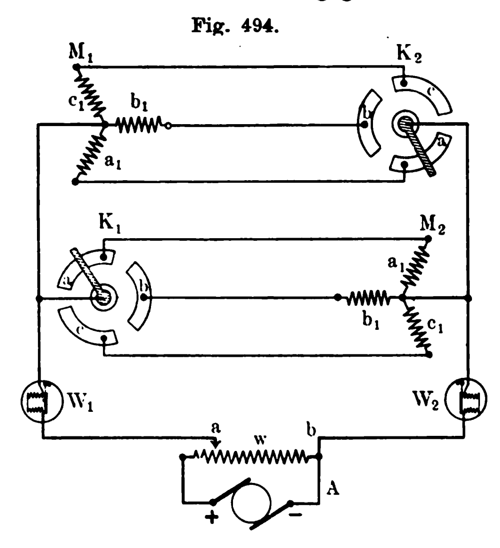
Fig. 493.



ser mit seiner Längsachse immer in der Richtung nach dem s Magneten einstellen, welcher gerade erregt ist. Dadurch lso die Einstellung der Kurbel des Senders am Empfänger :h gemacht werden.

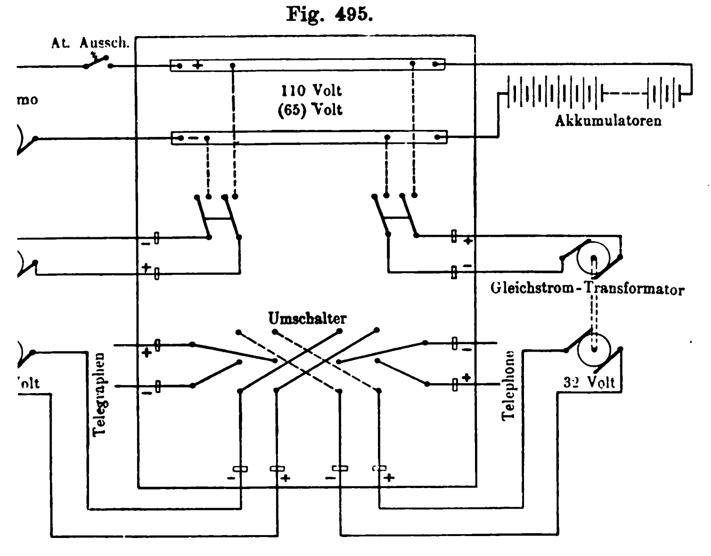
mit nun auch das Signal nicht nur von der einen zur anderen sondern auch von der letzteren zur ersteren gegeben werden .m den richtigen g des Zeichens tätigen, werden ler Schaltungen 93) zusammen- (Fig. 494). Zur eferung dient da- e Dynamo, zwi- eren Polklemmen derstand *w* ein- tet ist. Von zwei 1 *a* und *b* dieses :andes sind die reise für beide pparate abge- so dafs die Teil- ıg zwischen *a* zur Verwendung (vergl. S. 365).

Fig. 494.



m Betriebe der Telegraphen kann auch die sekundäre Spannung eines Gleichstrom-Umformers, Fig. 495 (vergl. § 124), verwendet

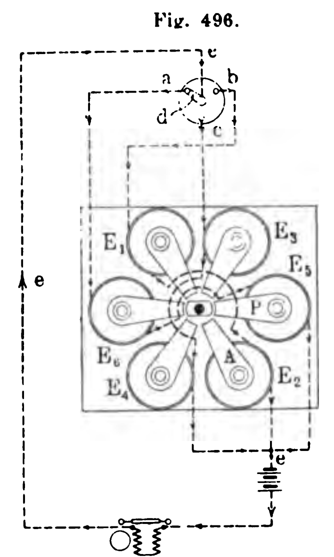
Fig. 495.



werden. Die primäre Spannung beträgt 110 bezw. 65 Volt. Durch Umschalter können die Telegraphen- und Telephonstromkreise an den einen oder anderen Transformator angeschlossen werden. Die Akkumulatorenbatterie ist der Dynamo zwischen den Sammelschienen *ss* parallel geschaltet; sie kann nach der Ladung für einen Teil des Lichtbetriebes (Positionslaternen u.s.w.) Strom liefern, auch bei Störungen an der Dynamo oder bei stark wechselnder Belastung derselben allein die Stromlieferung übernehmen. Die Entnahme des Stromes für den Gleichstrom-Umformer aus dem Akkumulator hat den Vorteil, dafs die primäre Spannung, wie auch die sekundäre, nahezu konstant bleibt und nur langsam abnimmt, während jede gröfsere Belastungsänderung der Dynamo eine Änderung der Tourenzahl des Gleichstrom-Umformers und zugleich eine Schwankung der Betriebsspannung für die Telegraphen u. s. w. hervorbringt. Auch während der Ladung werden durch den Akkumulator diese Schwankungen erheblich vermindert (Pufferbatterie).

Zur wirklichen Ausführung des Prinzipes dient ein System von Elektromagneten, welches in Fig. 496 dargestellt ist und einen vollkommeneren magnetischen Kreis besitzt als das Magnetsystem in Fig. 493. Auf einer Grundplatte sind sechs Elektromagnete E_1 bis E_6 im Kreise aufgestellt. Die Endflächen der Polschuhe P bilden einen cylindrischen Raum, in welchem um eine zu den Magnetkernen parallele Achse ein kleiner Anker A drehbar ist. Die unteren Enden der Elektromagnete sind ebenso ausgebildet, wie die oberen und umschliefsen mit ihren Polschuhen einen zweiten Anker A_1, der mit dem oberen durch eine Welle verbunden ist. Je zwei diametral gegenüber liegende Magnetspulen sind derartig in Reihe geschaltet, dafs sie einander oben, also auch unten entgegengesetzte Pole zukehren. Fliefst ein Strom durch ein solches Spulenpaar, so entsteht zwischen den zugehörigen Polschuhen oben wie unten ein kräftiges Feld, und die drehbaren Anker A stellen sich in die Verbindungslinie der Pole ein. Drehen wir die Kurbel d des Umschalters (Kommutator, Fig. 496), so werden nacheinander die Spulenpaare erregt, und der Anker folgt der Bewegung der Kurbel. Auf diese Weise würden sich jedoch nur sechs Stellungen des Ankers und damit auch nur sechs Signale ergeben, was in den meisten Fällen nicht ausreichend ist. Um die Zahl der Zeigerstellungen zu vergröfsern, ist eine Einrichtung getroffen, dafs jede Ankerstellung nicht nur einer, sondern mehreren Stellungen auf der Skala entspricht, d. h. dafs die Ankerstellung I sowohl der Skalenstellung 1, als auch der Skalenstellung 7, 13, 19 u. s. w. ent-

Fig. 496.

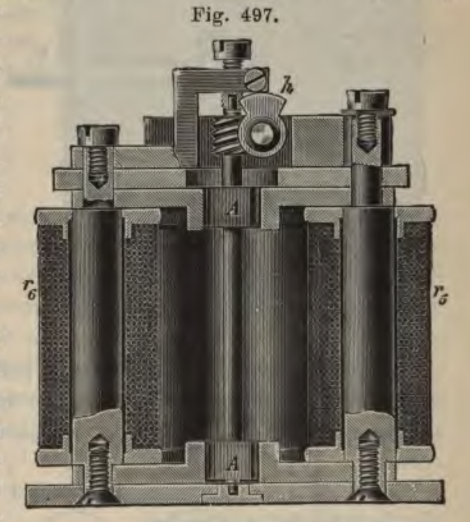


spricht. Die Skalenstellung 7 kann aber erst dann erscheinen, wenn der Anker A einen vollen Umgang gemacht hat. Durch die kräftige Wirkung der Magnete wird verhindert, daſs beim Umschalten der Anker nicht auf seiner Stellung bleibt, sondern stets den durch den Strom hervorgerufenen Polen folgt. Soll der Zeiger auf die Stellung 22, so muſs die Kurbel zunächst drei volle Umdrehungen machen und alsdann auf die 4 gehen, der Anker wird dann ganz ebensolche Bewegung ausführen.

Da jedoch die Skala, über welcher sich der Zeiger bewegt, nicht gröſser als 360⁰ sein kann, so muſs die Ankerbewegung in ihrer Übertragung auf den Zeiger reduziert werden.

Hierzu ist eine Übertragung mit Schnecke und Trieb (Fig. 497) gewählt. Auf der Ankerwelle befindet sich eine Schraube ohne Ende, die in ein Zahnrad (Fig. 498) greift; der Stellungszeiger ist auf der verlängerten Achse dieses Zahnrades befestigt. Durch diese Schneckenübertragung wird ein Pendeln des Zeigers auch bei schnellster Bewegung der Kurbel verhindert.

Fig. 497.



Wie beim Empfänger jeder Sprung des Zeigers um sechs Stellungen einen vollen Umlauf des Ankers erfordert, so muſs auch das Bewegen des Stellhebels am Sendeapparat (Fig. 499) um sechs Stellungen einen vollen Umlauf der Kurbel des Kommutators bedingen. Die letztere ist daher mit dem Stellhebel in analoger Weise wie der Anker mit dem Zeiger verbunden. Da aber bei der Bewegung des Stellhebels von Hand eine verhältnismäſsig groſse Leistung erforderlich ist, so ist für die Übertragung der Bewegung des Stellhebels auf die Kurbel des Umschalters eine solche durch Zahnräder gewählt.

Würde durch irgend einen Umstand, etwa durch Verstellen des Senderhebels bei Stromlosigkeit des Apparates die Übereinstimmung der Stellungen des Senderhebels und Empfängerzeigers aufgehoben sein, so ist durch eine einfache Einrichtung sogleich wieder gleiche Stellung in beiden Apparaten zu erreichen. Zu diesem Zwecke befindet sich an der Triebachse a_2 (Fig. 497 und 498) ein Kreissegment h, das sich in den beiden Grenzlagen des Zeigers gegen einen Stift der Ankerachse A legt und eine weitere Umdrehung des Ankers verhindert. Bei der Inbetriebnahme der Apparate ist also nur nötig, die

Hebel der Sender in beide Grenzlagen zu legen, und der Einstellhebel ist, wenn nicht in der einen, so doch in der anderen Grenzlage des Zeigers mit diesem in Übereinstimmung gekommen.

In Fig. 499 ist ein Wandapparat dargestellt, an welchem leicht der Einstellhebel zu erkennen ist, durch den der Stromwender betätigt wird, und ferner der Zeiger des Empfängers. Sender und Empfänger sind also zu einem Apparat vereinigt.

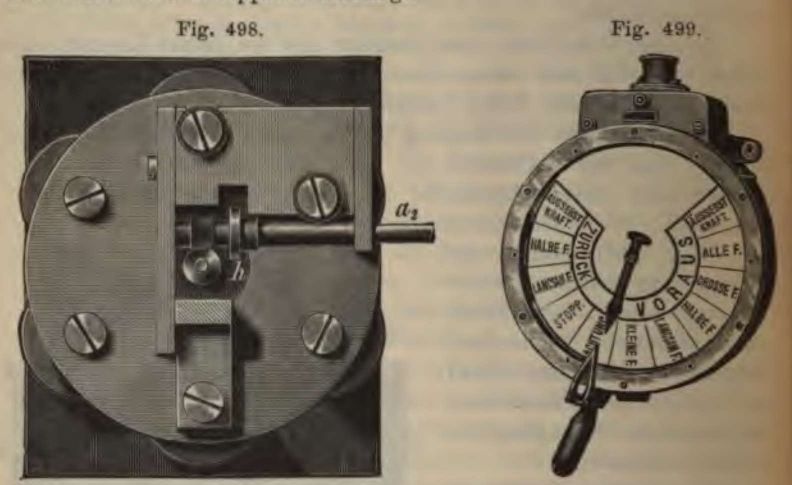


Fig. 498. Fig. 499.

Mit dem Stellhebel ist noch eine Bremsluftpumpe verbunden, welche gegen Stöfse u. s. w., wie sie bei fehlerhafter Bedienung vorkommen können, sowie gegen unbeabsichtigtes Verstellen des Hebels schützt.

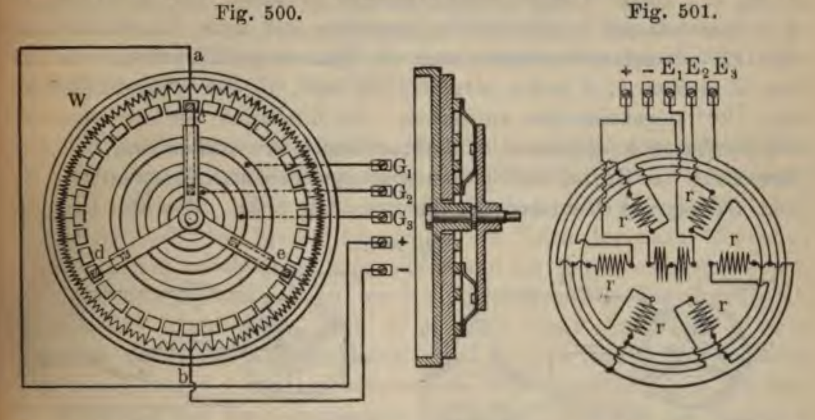
Mit dem Kommandoapparat sind die in Fig. 470 abgebildeten Membranwecker verbunden.

Nach dem im vorhergehenden entwickelten Prinzipe sind auch die Kesseltelegraphen, sowie die Rudertelegraphen und Ruderlageanzeiger der Firma **Siemens** und **Halske** eingerichtet.

§ 153. Die Maschinen-, Ruder- und Kesseltelegraphen der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin. Die Konstruktion dieser Apparate beruht auf dem Drehfeldfernzeigersystem, einer Erfindung von Prof. Dr. L. **Weber**, deren Patente die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft besitzt. Der Geber (Fig. 500) besteht aus einer Anzahl von Widerstandsspiralen, die zwischen im Kreise liegenden Kontakten angeordnet sind. Die Gröfse dieser Widerstände ändert sich nach einem bestimmten Gesetze, wie es auch in Fig. 500 zum Ausdruck gebracht ist. Dem in sich geschlossenen Widerstandsringe wird an zwei diametral gegenüber liegenden festen Punkten a und b Strom zugeführt. Durch drei drehbar angeordnete Schleiffedern c, d

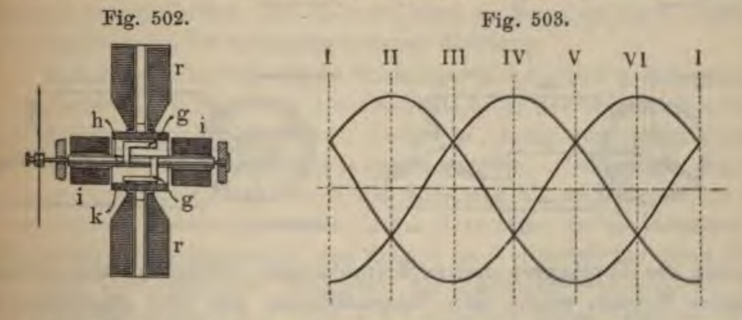
und *e*, welche um 120° gegeneinander gestellt sind, wird der Strom abgenommen und mittels der drei Fernleitungen G_1, G_2 und G_3 dem Empfänger zugeführt. Dieser besitzt sechs Spulen *r* (Fig. 501), die um einen Kupfercylinder *k* (Fig. 502) radial angeordnet sind und in

Fig. 500. Fig. 501.



Sternschaltung (vergl. § 69) zueinander liegen, wobei immer zwei gegenüber liegende Spulen zusammengeschaltet sind. In der Mitte zwischen den Spulenkernen ist der den Zeiger tragende Elektromagnet drehbar gelagert, der zwei Z-förmige Teile aus weichem Eisen besitzt, die durch ein Zwischenstück *h* aus nicht magnetisierbarem Material starr miteinander verbunden sind. Die Magnetisierung der Eisenteile geschieht durch zwei feststehende Spulen *i* (Fig. 502). Durch den

Fig. 502. Fig. 503.



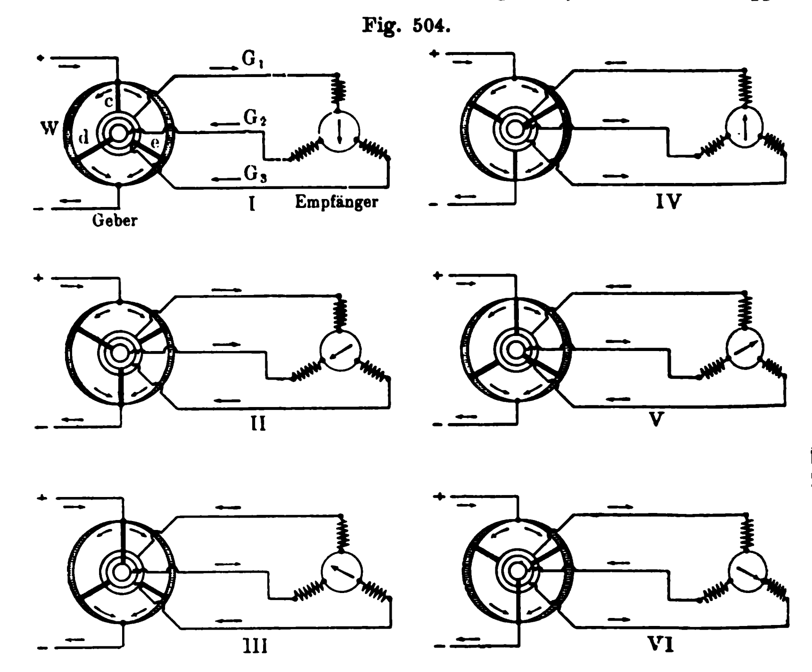
Kupfercylinder *k* wird eine kräftige Dämpfung der Bewegung der Z-förmigen Eisenteile bewirkt.

Die Wirkungsweise der Apparate ist folgende:

Zwischen den Punkten *a* und *b* (Fig. 500) ist die Spannungsdifferenz am gröſsten. Bewegt sich die Kurbel, und rückt der Punkt *c* auf der einen Seite oder auf der anderen an *b* heran, so wird die Spannungsdifferenz zwischen dem Kontakte *c* und *b* kleiner und schlieſslich Null, wenn *c* mit *b* zusammenfällt. Flieſst durch jede der beiden Ringhälften

der Strom i, und liegt zwischen c und b der Widerstand w, so ist die Spannungsdifferenz zwischen ihnen $e = iw$. Beim Drehen der Kurbel steigt w zu einem Höchstwerte an, wenn c von b ausgeht, und nimmt dann wieder zu Null ab, ebenso auch geschieht es mit den Kontakten e und d. Diese Widerstandsänderungen zwischen den Kontakten c, d, e einerseits und b andererseits geschehen mit einer Phasendifferenz von 120°. Demgemäſs werden auch die Spannungsdifferenzen zwischen den Kontakten c, d und e oder G_1, G_2 und G_3 eine Phasendifferenz von 120° gegeneinander aufweisen. In Rücksicht auf die Auswahl der Gröſse der einzelnen Widerstandsspiralen ändern sich bei der Bewegung der Kurbel die Spannungen zwischen den Klemmen G_1, G_2 und G_3 wie die Ordinaten der Kurven (Fig. 503). Die drei Doppel-

Fig. 504.



spulen des Empfängers sind in Sternschaltung verbunden, und in ihnen flieſsen Ströme, welche eine Phasendifferenz von 120° gegeneinander haben. Die drei Doppelspulen erzeugen also bei der in Fig. 501 dargestellten Anordnung ein Drehfeld, das sich synchron mit dem Geberhebel bezw. mit der Kurbel des Senders dreht.

In den Figuren 504 I bis VI ist der Stromlauf für verschiedene Stellungen des Geberhebels dargestellt. Jedes Spulenpaar ist dabei der Einfachheit wegen durch eine Spule dargestellt. Die Zusammensetzung der von den einzelnen Spulenpaaren erzeugten magnetischen Felder erfolgt in derselben Weise, wie wir es bei der Beschreibung der Entstehung der Drehfelder besprochen haben.

Dem Geber wie dem Empfänger ist Gleichstrom zuzuführen, dessen Spannung an den Klemmen der Apparate etwa 25 Volt betragen muß. Zur Stromlieferung dient am besten eine besondere Dynamo oder ein Akkumulator. Erfolgt der Anschlufs der Apparate an die für die Beleuchtung des Schiffes aufgestellten Dynamos, so mufs in die Zuleitungen zu den Apparaten ein entsprechender Vorschaltwiderstand eingeschaltet werden. Nach dem im vorstehenden entwickelten Prinzipe sind die Maschinen-, Ruder-, Heizraum-, Dock-, Artillerietelegraphen und Torpedosignalgeber der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin eingerichtet.

§ 154. Maschinen-, Kessel-, Heizraum- und Rudertelegraphen der Union-Elektrizitätsgesellschaft Berlin. Das Schaltungsschema zwischen zwei Stationen ist in Fig. 505 dargestellt. Der Empfänger ist bei diesen Apparaten ein Voltmeter nach Weston, dessen Zeiger durch Spannungsänderungen am Geber eingestellt wird. Diese Spannungsänderungen werden folgendermafsen hervorgebracht. Durch den Widerstand *W W* (Fig. 506) fliefst der Strom *i* einer Dynamo oder eines Akkumulators. Die Mitte *o* dieses Widerstandes und der Kontakt *s* — *s*, auf welchem die Kurbel schleift, sind mit dem Voltmeter *V* der Empfangsstation verbunden. Solange die Kurbel *k* auf *o* steht, ist die Spannungsdifferenz zwischen den Zuleitungen nach dem Voltmeter gleich Null und in diesem fliefst kein Strom. Wird die Kurbel auf den Kontakt 1 (nach rechts) gestellt, so ist zwischen den Anschlüssen der Voltmeterleitungen eine Spannungsdifferenz vorhanden, welche gleich dem Produkte aus der Stromstärke *i* und dem zwischen 0 und 1 liegenden Widerstande ist. Je weiter die Kurbel nach 5 (rechts) bewegt wird, desto gröfser wird der Ausschlag des Voltmeterzeigers. Bewegt man die Kurbel von *o* nach 5' (links), so geschieht die Ablenkung des Zeigers nach der entgegengesetzten Richtung.

Danach [illegible] tisch dargestellten Apparat [illegible] der Widerstand [illegible] des Voltmeters [illegible] poligen Umschalter [illegible] Anschlufs der [illegible] Der [illegible] ist durch [illegible] zugleich den [illegible]

[illegible]

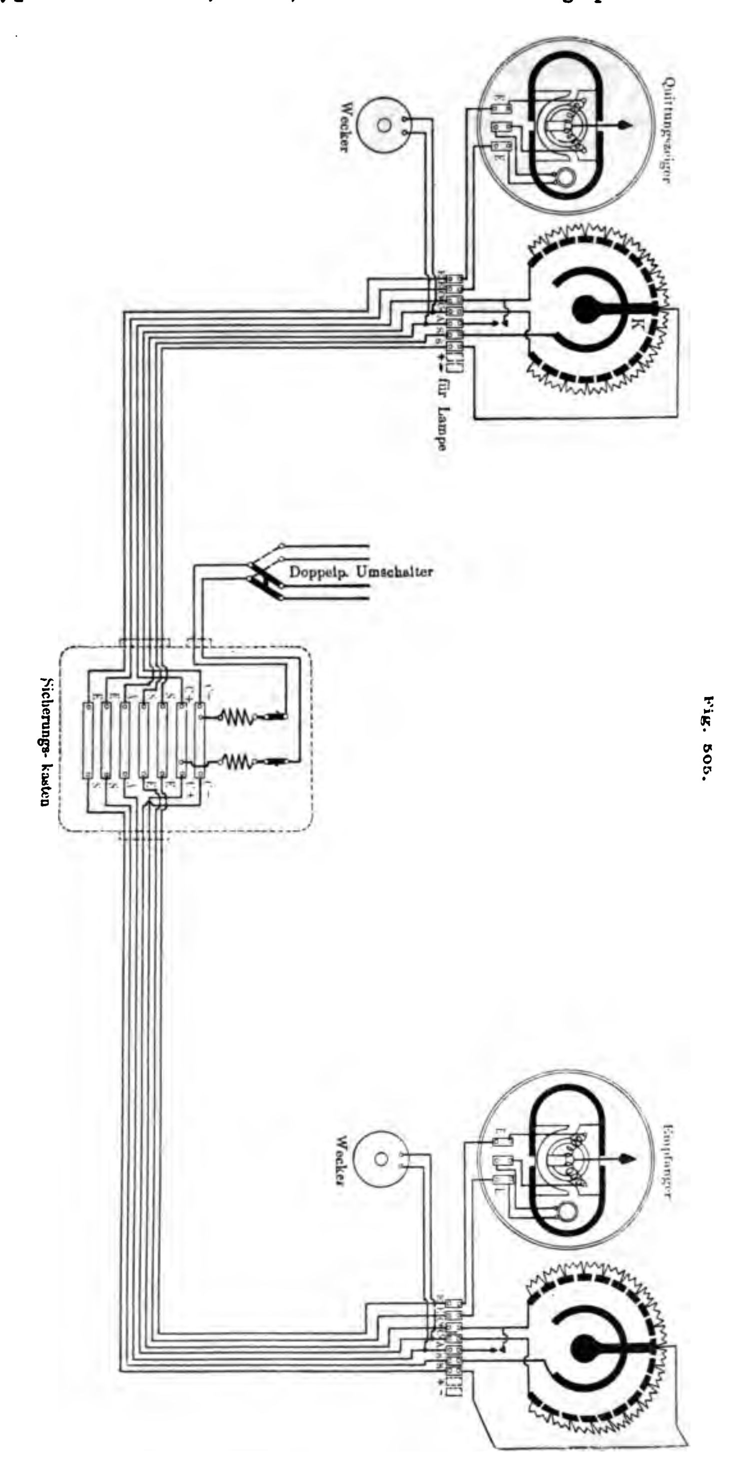
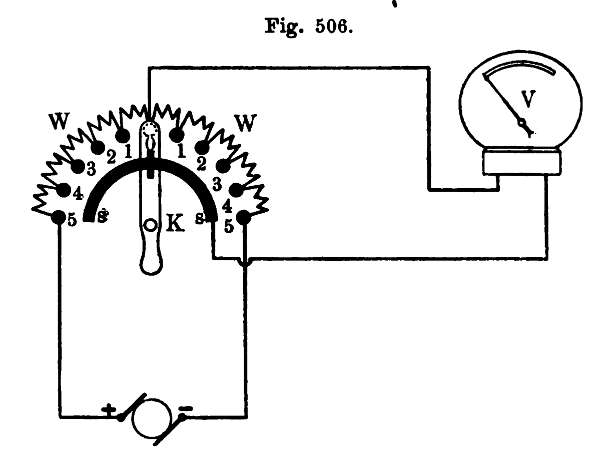

Wecker
K
+ – für Lampe
Doppelp. Umschalter
Sicherungs- kasten
Wecker

Fig. 505.

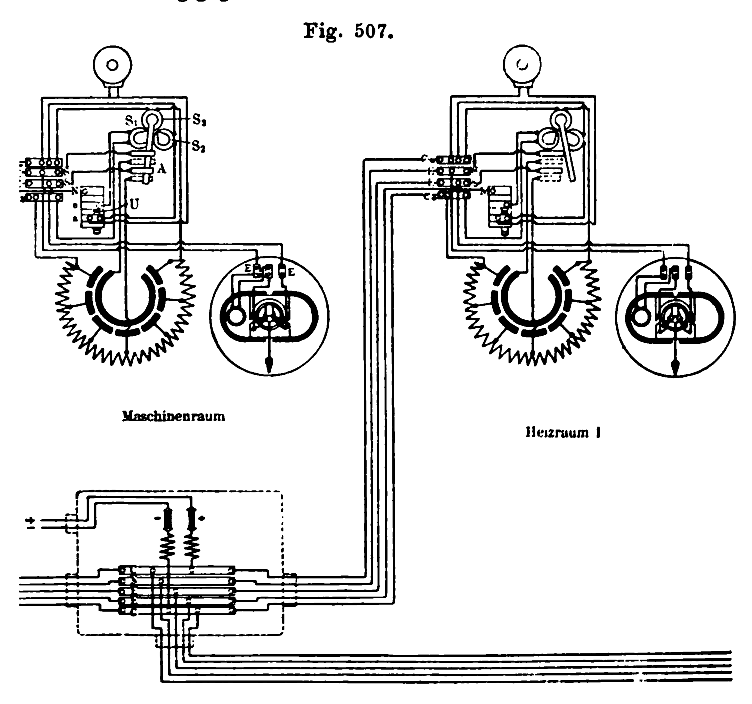
Bei den Maschinentelegraphen sind Schwankungen von 12 Proz. noch g. Im übrigen wird bei grofsen Anlagen, bei denen zahlreiche und Motoren angeschlossen sind, die Einfügung einer Pufferbatterie für die andoapparate, oder ein Gleichstromumformer diese Fehler beseitigen.

Fig. 506.



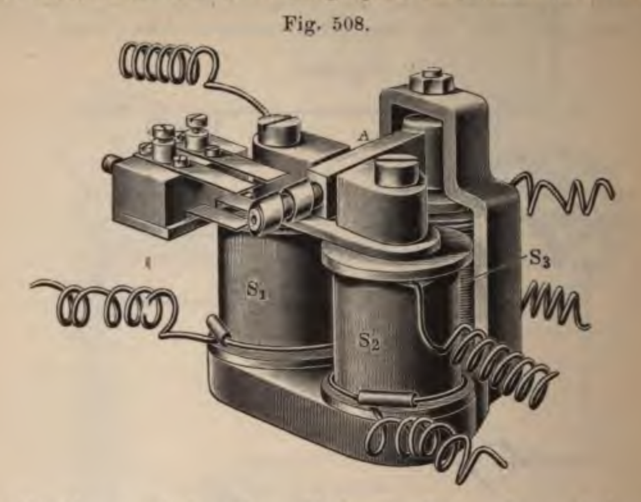
ɜn modernen Kriegsschiffen sind derartige Batterieen bereits seit längerer ingeführt, und die Apparate zur Befehlsübertragung sind dadurch von ɜntrale unabhängig gemacht.

Fig. 507.



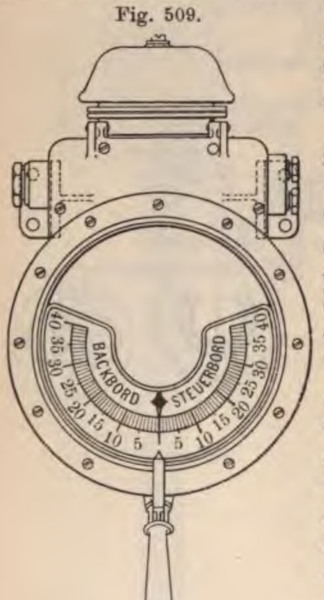
Die Arbeitsweise der Heizraum- und Kesseltelegraphen weicht von den Maschinen- und Steuertelegraphen insofern ab, als hier mehr

Fig. 508.



als zwei Stationen miteinander verkehren sollen, und von jeder Station gleichzeitig allen übrigen Stationen das Signal übermittelt werden mufs. Das Kommando erscheint demnach an den Empfängern aller Stationen und verschwindet erst, wenn es durch ein neues ersetzt wird.

Fig. 509.



Die Schaltung einer solchen Anlage ist aus dem Schema Fig. 507 ersichtlich. Wir haben nur zwei Stationen miteinander verbunden, weitere Stationen können, wie dies in der Fig. 507 angedeutet ist, parallel hinzugeschaltet werden. Jeder Geber ist mit einer selbsttätigen Ein- und Ausschaltvorrichtung versehen, die bewirkt, dafs alle Empfänger an den Apparat in der Geberstation angeschlossen werden. Zur Betätigung dieses Schalters dient ein Magnetsystem mit drei Spulen, von denen die hintere S_3 (Fig. 508) dauernd vom Strome durchflossen wird. Der Anker A wird also ständig erregt und hierdurch in der Ein- und Ausschaltstellung eine gute Arretierung geschaffen, die nicht durch Stöfse oder Erschütterungen, sondern allein durch Erregung der Spulen S_1 (Einschaltspule) und S_2 (Ausschaltspule) gelöst werden kann. Die Erregung der Spu

›der S_2 wird durch den Umschalter U (Fig. 507) ausgeführt, der vom ›erhebel beim Übergang von einem zu einem anderen Kommando ätigt wird. In der Ruhelage des Geberhebels ist der Kontakt N des ıschalters mit dem Kontakte a beim Legen des Hebels mit dem ntakte e verbunden. Der Strom in den Spulen verläuft von der C_+-›mme durch die Spule S_1 der gebenden Station nach den Kontakten e d N, von hier durch die Leitungen nach den Kontakten N der rigen Stationen und in jeder Station weiter nach a und durch die ule S_2 nach C_-.

Durch die Erregung der Spule S_1 der sendenden Station wird der t dem Anker in Verbindung stehende doppelpolige Schalter U eingeschaltet, dagegen in den Empfangsstationen durch S_2 ausgeschaltet.

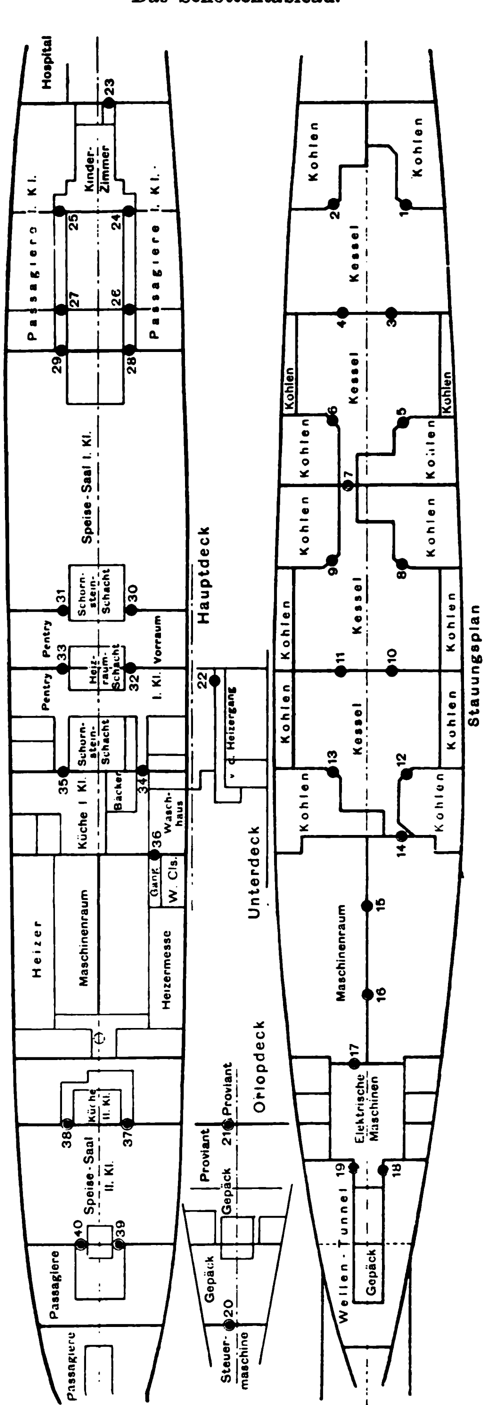
Alle Empfänger werden durch Schliefsen des doppelpoligen Schal-›s auf einer Station mit der Kontaktreihe des Widerstandes dieser ıtion verbunden. Die Übertragung des Kommandos erfolgt dann derselben Weise wie bei den Maschinentelegraphen (vergl. Fig. 506).

In Fig. 509 ist die äufsere Form des elektrischen Rudertelegraphen der ıion-Elektrizitätsgesellschaft dargestellt. Ähnlich sind auch die übrigen ›mmandoapparate und Fernmelder ausgeführt.

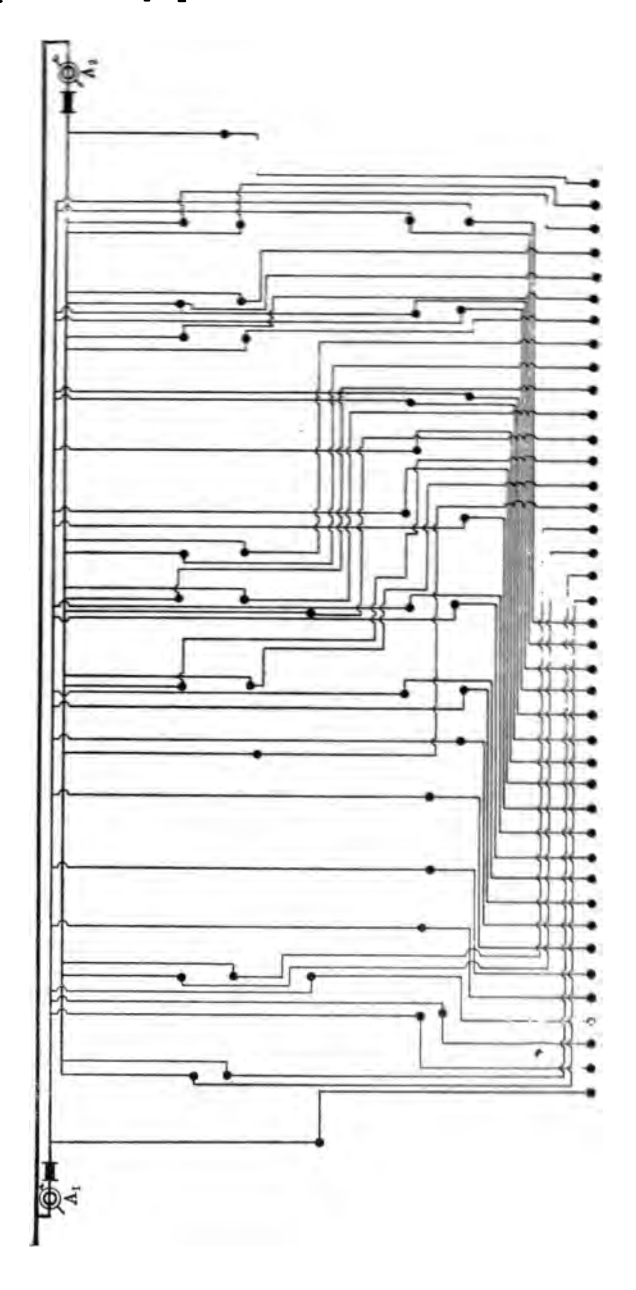
§ 155. **Verschiedene Signalapparate.** 1. Fernzeiger für mlaufszähler. Eine kleine magnetelektrische Dynamo wird von r Welle der zu überwachenden Maschine entweder durch Riemen er Friktionsrad angetrieben. Da bei permanenten Magneten der ›aftflufs Φ durch den Anker konstant bleibt, so ist die induzierte M.K. (vergl. Gleichung 29) allein abhängig von der Umlaufszahl des ıkers. Wird dem Anker nur ein sehr schwacher Strom entnommen, ist die Polklemmenspannung praktisch gleich der E.M.K. Die ›annungsdifferenz wird in dem Raume, wo die Kontrolle stattfindet, ı einem Weston-Voltmeter abgelesen, dessen Skala jedoch nicht in ›lt, sondern in Umläufe pro Minute geteilt ist. Die Ablesung kann ı mehreren Stellen zu gleicher Zeit erfolgen. Da die Dynamo nur ›n schwachen Strom für das Voltmeter liefert, und die Stromstärke eist auch nur innerhalb enger Grenzen schwankt, so spielt die Anker-›ckwirkung keine Rolle.

2. Kontrollapparat (Fig. 510) für wasserdichte Türen be-ıdet sich auf der Kommandobrücke und läfst mit einem Blicke er-›nnen, welche von den wasserdichten Türen in den Längs- und ›erschotten offen oder geschlossen sind. Das Schottentableau (Fig. 510) ›thält hinter einer Glasscheibe verteilt so viele elektrische Lampen, e wasserdichte Türen vorhanden sind. Von jeder Tür führt eine ›itung nach dem Tableau zu der ihr entsprechenden Lampe. Ist die ›r geschlossen, so ist zugleich die von ihr ausgehende Leitung ge-›lossen, die zugehörige Lampe im Tableau ist eingeschaltet und ›euchtet die auf der Glaswand befindliche Zahl der betreffenden

Fig. 510.

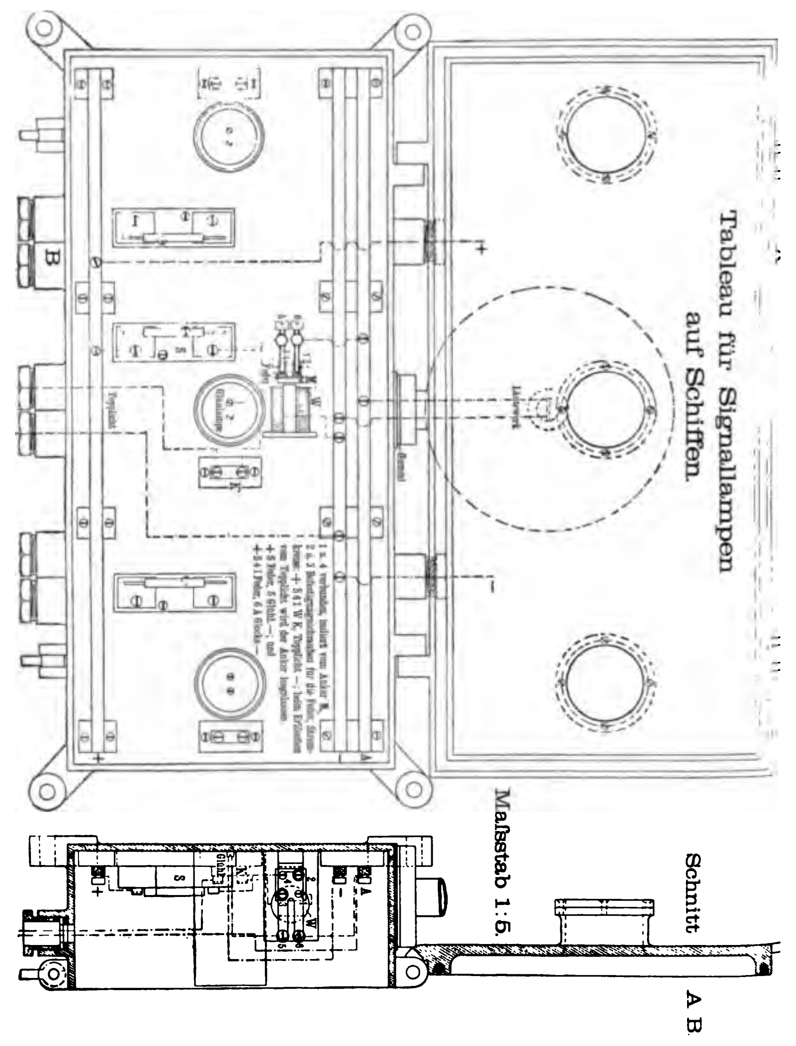

Hospital
Kinder-Zimmer
Passagiere I. Kl.
Passagiere I. Kl.
Speise-Saal I. Kl.
Schornstein-Schacht
Heizraum-Schacht
Pentry
Pentry
Vorraum
I. Kl.
Küche I Kl.
Bäcker
Wasch-haus
Gang
W. Cls.
Heizer
Maschinenraum
Heizermesse
Küche II. Kl.
Speise-Saal II. Kl.
Passagiere
Passagiere
Hauptdeck
v. d. Heizergang
Unterdeck
Orlopdeck
Proviant
Proviant
Gepäck
Gepäck
Steuer-maschine
Kohlen
Kessel
Maschinenraum
Elektrische Maschinen
Wellen-Tunnel
Gepäck
Stauungsplan

lichten Tür. Die innere Schaltung des Tableaus zeigt Fig. 511.
enn die beiden Ausschalter A_1 und A_2 geschlossen sind, zeigt
parat an. A_1 A_2 befinden sich neben dem Tableau und liegen



in der von der Dynamo kommenden Leitung; die unteren 40 Kont
dienen zum Anschluſs der Leitungen nach den einzelnen Türen be
nach den an ihnen montierten Schaltern, die beim Schlieſsen der
von selbst den Strom schlieſsen.

3. Kontrolllampen und Alarmvorrichtung für die Po
tionslaternen. In Fig. 512 ist das Tableau für die Signallater
(Seitenlichter, Topplicht) dargestellt. Sämtliche Apparate sind in ein

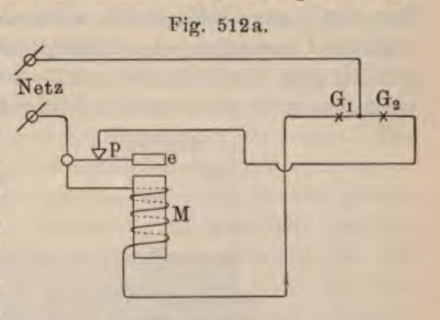


vollkommen wasserdichten Kasten montiert, der an der oberen Sei
das Läutwerk mit wasserdichtem Gehäuse trägt. Das Tableau befind

ch auf der Kommandobrücke und trägt vorne 3 oder 4 runde farbige lasscheiben (rot, grün, weifs), hinter denen im Gehäuse Glühlampen ıfleuchten, wenn eine der Positionslaternen erlischt, wobei gleichitig die Signalglocke ertönt. Für das Topplicht sind die Verbinıngen in Fig. 512 ausgeführt. Der Strom geht von der +-Schiene ırch die Sicherung s nach den auf dem Anker des Magneten W bestigten, von ihm isolierten Schrauben 1 und 4, von hier durch die ule des Magneten W, dann durch die Anschlufsklemme K nach dem opplicht und zurück zur negativen Schiene. Brennt der Kohlefaden r Glühlampe im Topplicht durch, so läfst der Magnet den federnden nker los, und der Strom fliefst von der Sicherung S nach der Schraube dann nach 5 durch die zugehörige Glühlampe im Tableau und zueich von 6 aus durch den parallel geschalteten Stromweg, der das utwerk enthält. Das Tableau Fig. 512 ist von der Firma A. Nissen Co., Hamburg, auf den grofsen Schnelldampfern des Norddeutschen oyd montiert.

Fig. 512 a zeigt eine einfachere Schaltung der Glühlampen G_1 und G_2 den Positionslaternen der Dampfer. An Stelle von G_1 und G_2 kann auch ıe Glühlampe mit doppeltem ohlefaden verwendet werden. ınächst ist nur der eine Faden er die Lampe G_1 eingeschaltet, ren Strom aus dem Netze ırch die Spule des Magneten M rückfliefst, wodurch der Anker e weit angezogen wird, dafs bei keine Verbindung vorhanden . Würde der Kohlefaden oder e Lampe G_1 erlöschen, so verıwindet der Strom in der Spule des Magneten M, der Anker schnellt rück, wodurch bei p der Strom durch den zweiten Kohlefaden oder ırch die Lampe G_2 geschlossen wird.

Fig. 512a.



Neunzehntes Kapitel.

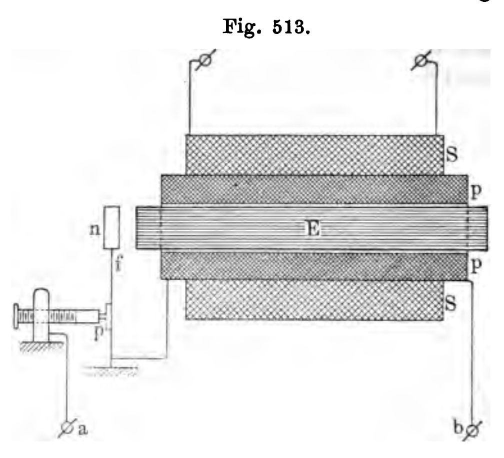
Die Funkentelegraphie.

§ 156. Physikalische Grundlagen. Der Funkeninduktor. ıchdem **Faraday** (1831) die induzierten elektrischen Ströme entckt hatte, ist es bekannt, dafs jeder in einem Leitungsdrahte fliefsende rom beim Entstehen und Verschwinden, überhaupt bei jeder Ändeng seiner Stärke, in einem benachbarten Leiter einen Induktionsom hervorbringt. Sendet man aus einer Batterie in eine Tele-

graphenleitung durch Öffnen und Schliefsen des Tasters Stromstöfse, so werden in jeder an demselben Gestänge befestigten Leitung Ströme induziert, die mit einem Telephon durch das knackende Geräusch der Membran leicht nachgewiesen werden können. Durch Schliefsen des Batteriestromes werden um die Leitung Kraftlinien erzeugt, die sie in konzentrischen Kreisen (Kraftlinienwirbel) umgeben; beim Schliefsen verschwinden diese Kraftlinienwirbel wiederum. Liegen beide Leitungen auf der ganzen Strecke nahe genug beieinander, so ist die Induktionswirkung genügend grofs, um mit dem Telephon die induzierten Ströme erkennen zu können.

Würde man im Abstande von einigen Metern zwei grofse Spulen aufstellen, so dafs ihre Windungsflächen parallel sind, und würde man durch die eine der beiden, die primäre, einen Wechselstrom schicken, so würden in der zweiten (sekundären) Spule Wechselströme induziert, die deutlich mit dem Telephon wahrnehmbar sind. Würde der Wechselstrom für einen Moment oder für etwas längere Zeit in der primären Spule fliefsen, so würde man dementsprechend ein sehr kurzes oder ein etwas länger andauerndes Geräusch im Telephon, das an die sekundäre Spule angeschlossen ist, wahrnehmen. Durch solche Zeichen wäre dann die Übertragung der Buchstaben in ähnlicher Weise durchführbar wie bei dem Morseschreibapparat durch Punkte und Striche. Hierbei handelt es sich schon um die Übermittelung telegraphischer Zeichen in die Ferne, ohne dafs der Sendeapparat und der Empfangsapparat durch eine Leitung miteinander verbunden sind. Die Entfernung jedoch, bis auf welche nach diesem Prinzipe Zeichen übertragen werden könnten, wäre nur gering; auch würde über mäfsige Entfernungen hinaus schon der Energieaufwand in dem Sendeapparat ganz aufsergewöhnlich grofs sein.

Fig. 513.



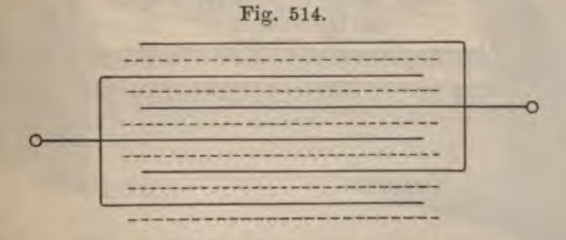
Ein weit wirksameres Mittel der Übertragung von Zeichen durch den Luftraum hindurch haben wir in den Hertzschen Wellen. Zur Erzeugung derselben benutzt man einen Induktor (Ruhmkorffschen Funkeninduktor), der in der folgenden Weise konstruiert ist. Auf einem Eisenkern E (Fig. 513) aus dünnen, durch Asphaltlackanstrich voneinander isolierten Eisendrähten ist zunächst eine primäre Spule p aus Kupferdraht geschoben. Diese wird mit einer gut iso-

n Schicht bedeckt und dann mit dem Eisenkern in das Innere
ekundären Spule ss aus sehr vielen Windungen eines feinen,
lierten Kupferdrahtes gebracht (vergl. § 29). Fliefst durch p
ichstrom, der plötzlich unterbrochen wird, so tritt in ss ein In-
sstrom auf; beim Unterbrechen des Stromes in pp erhalten wir
inen Induktionsstrom, der den Eisenkern in derselben Rich-
mfliefst wie der in p unterbrochene Gleichstrom. Wird der
durch pp geschlossen, so entsteht in ss ein Induktionsstrom,
Eisenkern im entgegengesetzten Sinne umfliefst.

s automatische Vorrichtung zum Öffnen und Schliefsen des
dient meistens der Wagnersche oder Neefsche Hammer.
e ist gewöhnlich mit dem Funkeninduktor direkt verbunden. An
lattfeder (Fig. 513) ist das Eisenstück n befestigt. Die Platin-
stöfst bei ruhender Feder gegen ein auf der letzteren befestigtes
lättchen. Verbindet man die Polklemmen a und b mit einer
uelle, so fliefst der Strom über p durch die primäre Spule, wodurch
senkern der Anker n angezogen wird. Hierbei findet an der
itze eine Stromunterbrechung statt, infolgedessen schwingt der
n zurück, und es erfolgt ein neuer Stromschlufs durch p u. s. f.
e Unterbrechung des primären Stromes bei p ist von einer leb-
Funkenbildung begleitet, und der beim Öffnen des primären
in p entstehende Selbstinduktionsstrom verzögert durch diese
bildung das Verschwinden des Kraftflusses im Eisenkern. Der
fnen des primären Kreises entstehende Selbstinduktionsstrom —
fnungsextrastrom — hat mit dem primären Strome gleiche
g. Die Verminderung der Funkenbildung geschieht dadurch,
n zwei Punkte zu beiden Seiten der Funkenstrecke mit den
Belegungen eines Kondensators verbindet, der meist im Fufs-
des Induktors untergebracht ist und die durch den Öffnungs-
om bewegte Elektrizitätsmenge in sich aufnimmt, um sie bei
chfolgenden Schliefsen des primären Stromes wieder herauszu-

r Kondensator nimmt, wie die Leydener Flasche, elektrische
in sich auf. Er besteht aus einer grofsen Zahl fest zusammenge-

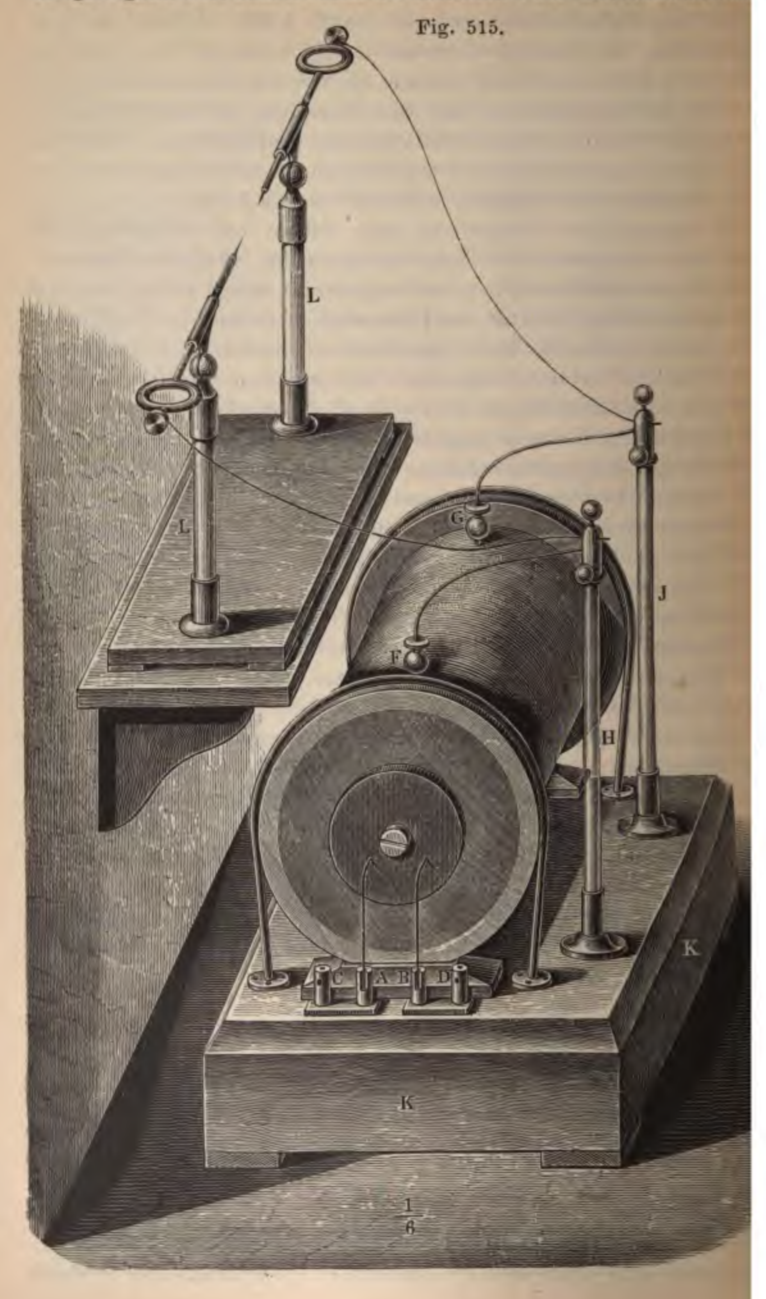
Fig. 514.



Stanniolblätter, die durch Blätter aus mit Paraffin getränktem
durch Glimmerscheiben oder andere Isolationsmittel voneinander

getrennt sind. Die isolierenden Blätter (Fig. 514) sind dabei so grofs
sie genügend weit zum Zwecke der Isolation über den Rand der Sta

Fig. 515.



blätter hinausragen, die abwechselnd mit der einen und mit der anderen Polklemme des Kondensators verbunden sind. Fig. 514 stellt schematisch die Anordnung der Stanniolblätter dar. Die beiden Polklemmen des Kondensators sind dann mit zwei Punkten zu beiden Seiten der Funkenstrecke bei p (Fig. 513) verbunden.

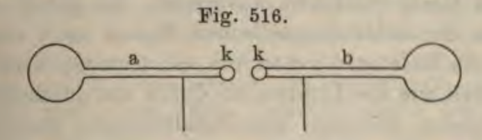
Fig. 515 stellt einen grofsen Funkeninduktor dar. Fliefst durch die primäre Spule desselben intermittierender Gleichstrom, so ist die in der sekundären Spule hervorgerufene Spannung infolge der grofsen Windungszahl so hoch, dafs der Ausgleich der Spannungsdifferenz in der Form eines langen Funkens zwischen den Polen der Sekundärspule vor sich geht. Der Funkeninduktor ist ein Transformator, der den intermittierenden Gleichstrom der primären Spule in Ströme wechselnder Richtung, die in der sekundären Spule entstehen, umformt.

Wir haben bereits in § 30 darauf hingewiesen, dafs der primäre Strom nicht augenblicklich zu seiner vollen Stärke infolge der Selbstinduktion ansteigen kann, weil beim Schliefsen des primären Stromes ein Schliefsungsextrastromstofs entsteht, der dem primären Strome entgegen gerichtet ist. Dagegen sinkt bei Anwendung eines guten Kondensators der primäre Strom beim Öffnen sehr rasch auf Null. Aus diesem Grunde ist auch die beim Öffnen des primären Stromes in der sekundären Spule induzierte Spannung meistens erheblich höher als die beim Schliefsen des primären Stromes induzierte. Die Funkenlänge oder Schlagweite ist also wesentlich durch die Wirkung des primären Stromes beim Öffnen bestimmt.

§ 157. Die elektromagnetischen Wellen. Der Kohärer.

Verbindet man die Polklemmen der sekundären Spule mit zwei Me-

Fig. 516.



tallstäben a und b (Fig. 516), die an ihren einander zugekehrten Enden zwei kleinere Metallkugeln tragen, an den anderen Enden gröfsere Metallkugeln, so entstehen zwischen den kleinen Kugeln Wechselströme von sehr hoher Schwingungszahl. Die genaue, von Feddersen zuerst ausgeführte Untersuchung des in diesem Apparate auftretenden Entladungsfunken der sekundären Spule hat gezeigt, dafs der mit unserem Auge wahrzunehmende einzelne Entladungsfunke in Wirklichkeit aus einer grofsen Zahl sehr schneller, in wechselnder Richtung vor sich gehender Entladungen und Entladungsfunken besteht. Wir erhalten also zwischen den Kugeln kk Entladungen wechselnder Richtung — oscillierende Entladungen — von sehr geringer Schwingungsdauer. Hervorzuheben ist, dafs die durch die

Entladung erzeugten Wechselströme nicht eine geschlossene Bahn durchlaufen, sondern in dem aus den beiden Kugeln *k k* mit den Metallstäben *a* und *b* bestehenden Entladungssystem hin- und herpendeln. Sind die Metallstäbe *a* und *b* ein Meter lang, und haben die Kugeln *kk* einen Durchmesser von 5 mm, während die grofsen Kugeln den Durchmesser 50 mm haben, so beträgt die Zahl der Entladungen bereits mehrere Millionen in der Sekunde.

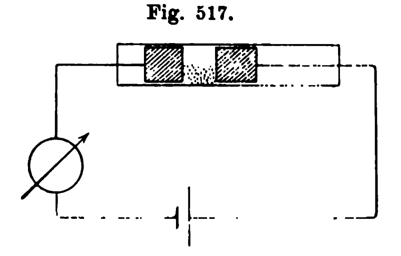
Heinrich Hertz hat durch seine berühmten Versuche (1889) den Nachweis geliefert, dafs die oscillierenden Entladungen der Funkenstrecke im Raume transversale Wellen erzeugen, d. h. Wellen, bei denen die Schwingungsrichtung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung liegt. Die Wellen verhalten sich in physikalischer Hinsicht wie die Lichtwellen. Die Funkenstrecke ist der Ausgangspunkt elektromagnetischer Wellen oder Strahlen elektrischer Kraft, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes von 300 000 km in der Sekunde fortpflanzen und deren Reflexion und Brechung nach denselben Gesetzen erfolgt, denen die Lichtstrahlen unterworfen sind. Der Unterschied zwischen den Lichtätherwellen und den elektromagnetischen Wellen besteht nur darin, dafs die ersteren höchstens eine Wellenlänge von 0,0008 mm haben und ihre Schwingungszahlen je nach der Farbe zwischen 400 und 763 Billionen in der Sekunde liegt, während die letzteren Wellen haben, deren Länge zwischen einigen Centimetern und mehreren hundert Metern schwankt und deren Schwingungszahlen demgemäfs zwischen einer Million und zehntausend Millionen (10^{10}) liegen. Die Lichtwellen sind also aufserordentlich klein, so dafs auf 1 mm des Weges der roten Lichtstrahlen etwa 1315 Wellen kommen. Wie das Licht von einer Lichtquelle aus sich nach allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit ausbreitet, so gehen auch von der Funkenstrecke die elektromagnetischen Wellen nach allen Richtungen aus. Durch die Isolatoren gehen die elektromagnetischen Wellen ungestört hindurch wie die Lichtwellen durch die durchsichtigen Körper. Von den leitenden Körpern, von Metallflächen, werden die elektromagnetischen Wellen jedoch entweder reflektiert oder absorbiert.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dafs man die elektromagnetischen Wellen als Lichtstrahlen von grofser Wellenlänge oder die Lichtstrahlen als elektromagnetische Wellen von sehr geringer Wellenlänge ansehen kann. (Maxwells elektromagnetische Lichttheorie.) Die strahlende Wärme, das Licht und die elektromagnetischen Wellen sind ihrem Wesen nach Schwingungen des sogenannten Lichtäthers. Die Unsichtbarkeit der elektromagnetischen Wellen liegt nicht in dem Wesen dieser Strahlen begründet, sondern in der Beschaffenheit unseres Auges, das nur befähigt ist, den Eindruck von Ätherwellen, deren Länge zwischen 390 (violettes Licht) und 760 (rotes Licht) Millionstel eines Millimeters liegt, wahrzunehmen. Auch ist das Auge nicht befähigt, den Eindruck der Wärmestrahlen, deren Wellenlängen gröfser als 760 Millionstel Millimeter sind, aufzunehmen; zur Wahrnehmung dieser Strahlen dient nur der Gefühlssinn.

Auf die Hertzschen Untersuchungen des Nachweises und der

Gesetze der elektromagnetischen Strahlung können wir hier nicht weiter eingehen. Ein bequemes und dabei sehr empfindliches Hülfsmittel zur Wahrnehmung der elektromagnetischen Wellen bietet die B r a n l y sche R ö h r e (K o h ä r e r) (1891). Eine kurze Glasröhre (Fig. 517) von etwa 4 bis 5 mm lichter Weite enthält zwei dicht schliefsende kurze Kolben (Elektroden) aus Silber, die sich im Abstande von etwa 1 mm im Innern der Röhre gegenüberstehen. Zwischen die Elektroden sind sehr feine Nickelspänchen von möglichst gleicher Gröfse gebracht. Schaltet man im Stromkreise eines Elementes eine solche Röhre mit einem Galvanoskop ein, so zeigt letzteres keinen Strom an, weil das Metallpulver dem Durchfliefsen des elektrischen Stromes einen sehr grofsen Widerstand entgegensetzt. Läfst man dagegen in der Nähe durch die Funkenstrecke eines kleinen Induktors elektromagnetische Wellen entstehen, so wird das Metallpulver (die Nickelspäne) leitend, und die Ablenkung der Nadel des Galvanoskops zeigt die Existenz eines Stromes an. Durch das Auftreffen der von einem Entladungsfunken ausgehenden elektromagnetischen Wellen fällt der Widerstand des Metallpulvers also plötzlich von seinem hohen Betrage ab; ein kurzer Schlag gegen die Röhre genügt, um den Widerstand wieder so weit zu erhöhen, [illegible] Röhre fliefst.

Fig. 517.



Wodurch die [illegible]

Einflusse der [illegible]

nicht festgestellt. [illegible]

magnetischer Wellen [illegible]

so dafs [illegible]

Strom [illegible]

metallischer [illegible]

ein [illegible]

Elektroden [illegible]

Teilchen [illegible]

wieder [illegible]

weise [illegible]

Fritter [illegible]

In der [illegible]

den [illegible]

einen [illegible]

als Empfänger [illegible]

der [illegible]

beruht.

§ [illegible]

[illegible]

elektromagnetische Wellen. Als Sendeapparat (Fig. 518) dien
Funkenstrecke f in Verbindung mit einem isolierten, ins Freie ra
den Kupferleiter, der an die eine der beiden Kugeln $k\,k$ angeschl
ist, während die andere mit der Erde leitend verbunden wird. p u
sind bezw. die primäre und sekundäre Spule des Funkeninduktor
Durch den Schlüssel S kann die Funkenstrecke für längere oder

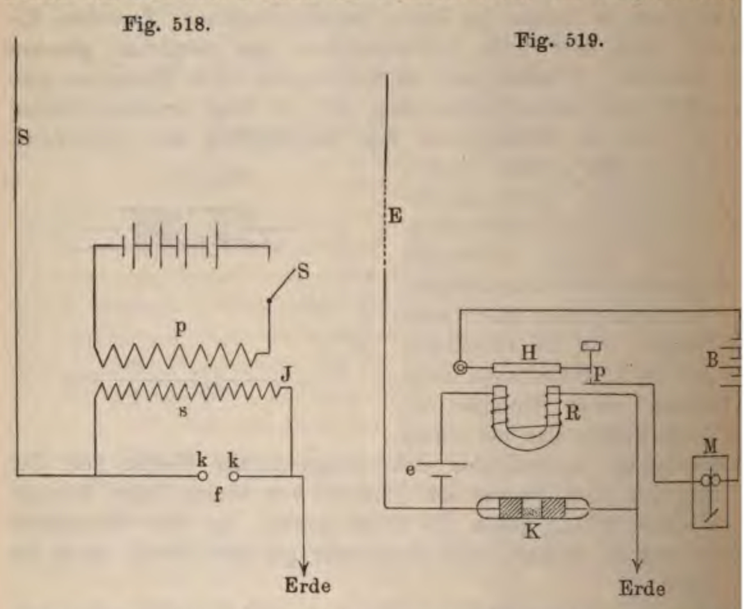


Fig. 518. Fig. 519.

kurze Zeit hergestellt werden, so daſs Zeichen gegeben werden könn
die den Punkten und Strichen des Morsealphabetes entsprechen.
an die Kugeln, die den Oscillator bilden, angeschlossene Sendedrah
strahlt beim Auftreten eines Funkens demnach für längere oder kürz
Zeit elektromagnetische Wellen aus, die im Raume nach allen Ri
tungen sich ausbreiten. Fig. 519 stellt schematisch die Einricht
der zugehörigen Empfangsstation dar. Der Kohärer K liegt mit d
Elektromagneten R (Relais) im Stromkreise des Elementes e. Das e
Ende des Kohärers ist mit dem Empfangsdrahte E verbunden,
von gleicher Höhe mit dem Sendedrahte an einem Maste im Fr
befestigt ist. Das andere Ende des Kohärers ist mit der Erde leit
verbunden. Solange E keine elektromagnetischen Wellen auffä
ist der Widerstand des Kohärers so groſs, daſs in den Spulen
Relais nur ein sehr schwacher oder überhaupt kein Strom flieſst,
auch nicht der Anker H angezogen werden kann. Nimmt E elek
magnetische Wellen auf, so steigt das Leitungsvermögen des Kohä
und H wird angezogen, wodurch bei p der Stromkreis einer L
batterie geschlossen wird, in dem auch ein Morseschreibapparat

sem Morsesc[illegible]
. 519 fortge[illegible]
ıgel eingeri[illegible]
genblick, wo [illegible]
Klopfer [illegible]
Kohärer [illegible]
n in der [illegible]
h E nur [illegible]
gt einen [illegible]
ırere seh[illegible]
einige [illegible]
Morsea[illegible]

Zum [illegible]
ichtung [illegible]
Empf[illegible]

[illegible]

REGISTER.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

J.

K.

L.



